



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**MODELAGEM DE TERRENO UTILIZANDO**  
**SISTEMAS FOTOGRAMÉTRICOS**

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de  
doutor em engenharia de produção e sistemas

**Francisco Henrique de Oliveira**

Florianópolis – SC - 2002

**Francisco Henrique de Oliveira**

**MODELAGEM DE TERRENO UTILIZANDO  
SISTEMAS FOTOGRAFAMÉTRICOS**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de DOUTOR EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof. Ricardo Miranda Barcia, Ph.D.  
Coordenador do curso

Banca Examinadora:

---

Carlos Loch, Dr. - Orientador

---

Jucilei Cordini, Dr. – Moderador - UFSC

---

Jürgen Philips, Dr. - Ing. – Membro - UFSC

---

Hans-Peter Bähr, Dr. Ing. – Membro – Karlsruhe

---

Miguel A. Uribe Opazo, Dr. – Membro - UNIOESTE

---

Sílvia Modesto Nassar, Dra. – Membro – UFSC

---

Manuel Weindorf, Dr.-Ing. – Membro – Karlsruhe

**Florianópolis, SC – Fevereiro de 2002**

## Agradecimentos

---

Ao professor orientador Dr. Carlos Loch, o qual se mostrou paciente e persistente confiando no potencial do projeto, dedicando alguns finais de semana à discussão dos problemas e consequentemente buscando suas soluções ..... obrigado pela confiança;

À Diretoria e aos funcionários da Empresa Aerodata Engenharia de Aerolevantamentos S.A., em especial muito obrigado ao amigo Paulo Cesar Trino pelo apoio técnico e logístico, meus sinceros agradecimentos;

Ao professor Jürgen Philips, que apoiou o projeto e deu fé as idéias acreditando no sucesso do trabalho. Muito obrigado pelas sugestões técnicas e pelos conselhos pessoais, a experiência de vida só se tem vivendo;

Ao professor Jucilei Cordini e ao amigo Diego Alfonso Erba pelas situações inusitadas que passamos juntos durante o curso de Fotogrametria Digital na empresa Carl Zeiss - Alemanha.

Aos Professores Hans-Peter Bähr, Ligia Eleodora Francovig Rachid, Jorge Centeno e Miguel Angel Uribe Opazo, os quais foram profissionais durante o desenvolvimento do projeto sugerindo alterações e propondo soluções inteligentes.

Ao amigo Cezário, que desde a graduação em cartografia acompanha as atividades e divide os momentos de problemas e soluções, em especial neste trabalho. Ao professor Luis Fernando Gonçalves de Figueiredo, ao acadêmico Thierry Bagatin e a equipe do GeoLab – Laboratório de Geoprocessamento – UNIOESTE, obrigado pelo apoio.

Aos amigos do IPF – Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung – Universität Karlsruhe - em especial ao doutorando Eberhard Steinle; doutores Manuel Weindorf, Steffen Landes e Tania Neush; amiga Heide Heckmann.....obrigado pelo apoio e parceria no desenvolvimento de atividades científicas além mar.

Ao LabFSG – Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Civil - UFSC, pelo apoio e suporte técnico, em especial ao funcionário Paulo Cesar Fortkamp, bem como aos bolsistas Graciela Aparecida Berte, Fernando Heidemann, Luiz Henrique Girardi e Klaus Eduardo Mouta Wojcikiewicz.

Ao órgão nacional de fomento CNPq, que apoiou e viabilizou o doutorado subsidiando os dois anos iniciais de estudo e pesquisa;

A UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – em especial ao CCET – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Campus de Cascavel - PR, pelo apoio logístico e financeiro, muito obrigado.

Ao NIT – Núcleo de Inovações Tecnológicas da UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em especial ao mestrando Reny Adilmar Prestes Lopes pela disposição em trocar idéias e experiências sobre geoestatística.

Ao Maycon, estagiário da empresa Aerodata Aerolevantamentos S. A., pela imensa solicitude na organização e preparação dos dados referente ao Município de São José dos Pinhais, visando o início do desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos de Florianópolis, em especial: Marcelo, Humberto, Marcos, Jani Mara, Fabiola, Luiz Henrique, Dalton, Cláudio Cesar Zimmermann, Agostinho, Maristela, Lilian, Danielle, Ana Paula, Alexandre, Athenagoras, Emanuelle, Franciane, Fabio, Hugo, Isabel e Yumi.

À Universidade Federal de Santa Catarina e ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, em especial ao professor coordenador Ricardo Miranda Barcia e toda a equipe de apoio do curso.

Aos participantes da banca examinadora por aceitarem o convite e pelas sugestões recomendadas, objetivando engrandecer o trabalho.

**Muito Obrigado pelo apoio de todos.....**

# Sumário

---

Agradecimentos	III
Sumário	V
Lista de Figuras	VIII
Lista de Quadros	XI
Lista de Tabelas	XII
Lista de Siglas e Abreviaturas	XIV
Resumo	XVI
Abstract	XVII
 <b>CAPÍTULO 01 - Introdução</b>	 01
1.1 Identificação do problema	02
1.2 Limitações da pesquisa	04
1.3 Justificativa	06
1.4 Objetivos	08
1.4.1 Geral	08
1.4.2 Específicos	08
1.5 Estrutura do trabalho	09
 <b>CAPÍTULO 02 - Fotogrametria, Sistemas Fotogramétricos e Geoestatística</b>	 10
2.1 Fotogrametria	10
2.1.1 Definição e aplicação	10
2.1.2 Evolução histórica da fotogrametria	11
2.1.2.1. Primeiros desenvolvimentos	11
2.1.2.2. Ciclos de desenvolvimento	11
2.1.2.3. Planejamento da fotogrametria	12
2.1.2.4. Fotogrametria analógica	13

2.1.2.5.	Fotogrametria analítica	18
2.1.2.6.	Fotogrametria digital	18
2.1.3.	Teoria sobre a fotogrametria digital	19
2.1.4.	Introdução aos sistemas de fotogrametria digital	20
2.1.4.1.	Componentes básicos	31
2.2	Definição de imagem fotogramétrica digital	32
2.2.1	Digitalização de fotografias	33
2.2.2	Reflexões sobre o uso da fotogrametria digital	35
2.3	Descrição detalhada dos produtos ImageStation	43
2.3.1	ImageStation Photogrammetric Manages (ISPM)	43
2.3.2	ImageStation Digital Mensuration (ISDM)	44
2.3.3	ImageStation Stereo Display (ISSD)	44
2.3.4	ImageStation Feature Collection (ISFC)	45
2.3.5	ImageStation DTM Collection (ISDC)	45
2.4	Fundamentação teórica sobre geoestatística	45
2.4.1	Histórico	45
2.4.2	Variograma	48
2.4.2.1	Parâmetros do semivariograma	50
2.4.3	Modelos teóricos	51
2.4.4.	Krigagem	54

### **CAPÍTULO 03 – Área de Estudo, Materiais Cartográficos e Método da Pesquisa** 57

3.1	Área De Estudo – Município De São José Dos Pinhais – Paraná	57
3.1.1	Fundação e evolução de São José dos Pinhais	57
3.1.2	Características geográficas	59
3.1.3	Posição do Município no contexto nacional e regional	61
3.2	Materiais utilizados	62
3.2.1	Materiais utilizados para a geração do produto cartográfico de 1990	63
3.2.2	Materiais utilizados para a geração do produto cartográfico de 1999	63
3.2.3	Materiais utilizados para a geração do produto cartográfico de 2000	63
3.3	Metodologia empregada	66
3.3.1	Descrição passo a passo das etapas executadas no desenvolvimento do projeto	68
3.3.1.1	Atividades desenvolvidas para a confecção do produto cartográfico 1990	68
3.3.1.2	Atividades desenvolvidas para a confecção do produto cartográfico 1999	68
3.3.1.3	Atividades desenvolvidas para a confecção do produto cartográfico 2000	69

## **CAPÍTULO 04 – Análises dos Resultados após geração dos MDT's** 102

4.1	Cartografia digital – produto cartográfico - 2000	102
4.1.1	Resultados adquiridos a partir do produto cartográfico – 2000 – através do uso do software ImageStation	102
4.1.2	Análises sobre o produto cartográfico - 2000	107
4.2	Cartografia analítica – produto cartográfico de 1999	114
4.2.1	Resultados adquiridos a partir do produto cartográfico - 1999	114
4.3	Cartografia analítica – produto cartográfico de 1990	116
4.3.1	Resultados adquiridos a partir do produto cartográfico - 1990	116
4.4	Resultados adquiridos através do uso do software GeoTerrain	119
4.5	Resultado e análises da geoestatística	120
4.5.1	Análise descritiva geral	120
4.5.2	Análise espacial através da geoestatística	122
4.5.3	Análise geoestatística para os dados aerotriangulados	138
4.5.4	Análise dos dados altimétricos considerando a legislação cartográfica brasileira	144
4.6	Resultado obtido após a geração da ortofoto	150

## **CAPÍTULO 05 - Conclusões e Recomendações** 152

5.1	Fotogrametria digital	152
5.2	Estatística	157
5.2.1	Conclusões sobre a aplicação da legislação cartográfica	157
5.2.2	Geoestatística	159
5.3	Recomendações	160

## **CAPÍTULO 06 – Referências Bibliográficas** 161

### **Anexo A** 170

Relatório dos pontos de enlace e controle após o ajustamento

Relatório da câmera aerofotogramétrica

### **Anexo B** 176

Tabela para determinação dos parâmetros de Curtose e Assimetria

## Lista de Figuras

---

<b>Figura 2.1</b>	Definição de uma imagem fotogramétrica digital. Fonte: Kraus (1992)	32
<b>Figura 2.2</b>	Representação esquemática do autowinder. Fonte: Mehlo (1995)	43
<b>Figura 2.3</b>	Amostragem em duas dimensões. Fonte: <a href="http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/aulas.html">http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/aulas.html</a>	48
<b>Figura 2.4</b>	Exemplo de semivariograma experimental. Fonte: <a href="http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/aulas.html">http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/aulas.html</a>	50
<b>Figura 2.5</b>	Gráfico dos modelos esférico, exponencial e gaussiano	54
<b>Figura 3.1</b>	Posição geográfica do município de São José dos Pinhais – PR no contexto nacional	60
<b>Figura 3.2</b>	Posição geográfica da área de estudo no município de São José dos Pinhais - PR	61
<b>Figura 3.3</b>	Metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho	67
<b>Figura 3.4</b>	Tela de configuração dos parâmetros de entrada no sistema ImageStation (ISPM)	71
<b>Figura 3.5</b>	Mosaico da área de estudo – Fotos de 2000 – São José dos Pinhais – Paraná	72
<b>Figura 3.6</b>	Representação gráfica das fotos, faixas e pontos de apoio referentes ao levantamento aerofotogramétrico de 2000	73
<b>Figura 3.7</b>	Configuração dos pontos de passagem	76
<b>Figura 3.8</b>	Relatório da orientação interior	78
<b>Figura 3.9</b>	Relatório final da orientação relativa	79
<b>Figura 3.10</b>	Qualidade da leitura dos pontos de controle	81
<b>Figura 3.11</b>	Relatório final da orientação absoluta	81
<b>Figura 3.12</b>	Seleção das fotos que farão parte do comando Multifoto	83
<b>Figura 3.13</b>	Processo para execução da aerotriangulação	84
<b>Figura 3.14</b>	Relatório estatístico da aerotriangulação	85
<b>Figura 3.15</b>	Definição dos modelo estereoscópios	86
<b>Figura 3.16</b>	Definição do <i>pathway</i> no ISDC	87
<b>Figura 3.17</b>	Configuração dos parâmetros do <i>pathway</i>	88



<b>Figura 3.18</b>	Geração da superfície do terreno	89
<b>Figura 3.19</b>	Exemplo dos dados de entrada no MicroStation, base para a geração das diferentes malhas 3D	93
<b>Figura 3.20</b>	Configuração dos parâmetros para a geração do arquivo DAT	93
<b>Figura 3.21</b>	Configuração dos parâmetros para a geração da malha TIN	94
<b>Figura 3.22</b>	Configuração da malha retangular com 100x100m	96
<b>Figura 3.23</b>	Resultado após o processamento da malha retangular 100x100m	96
<b>Figura 3.24</b>	Fatiamento executado para a geração da malha retangular com resolução de 2x2m	97
<b>Figura 3.25</b>	Arquivo padrão usado como referência na aquisição das coordenadas 3D das 24 malhas retangulares	98
<b>Figura 3.26</b>	Processo de geração dos pares através do software Prevar2D.	100
<b>Figura 3.27</b>	Calculo da Superfície Variograma.	100
<b>Figura 3.28</b>	Determinação do modelo experimental matemático do variograma.	101
<b>Figura 4.1</b>	Coordenadas provenientes da aerotriangulação digital, usadas como fonte base na geração do MNT	103
<b>Figura 4.2</b>	Resultado da geração do DTM no software SPRING 3.4 – usando os 200 pontos da aerotriangulação	104
<b>Figura 4.3</b>	Coordenadas provenientes da fotogrametria digital ImageStation – Módulo ISDC	105
<b>Figura 4.4</b>	Resultado da geração do DTM no software SPRING 3.4 – usando os pontos provenientes do ISDC	106
<b>Figura 4.5</b>	Pontos 3D do modelo 2526 lidos no ImageStation e importados para o Idrisi	107
<b>Figura 4.6</b>	Coordenadas provenientes da restituição analítica de 1999, usadas como fonte base na geração do DTM	115
<b>Figura 4.7</b>	Resultado da geração do DTM no software SPRING – usando os pontos cotados e curvas de nível provenientes da restituição de 1999	116
<b>Figura 4.8</b>	Coordenadas provenientes da restituição analítica de 1990, usadas como fonte base na geração do DTM	117
<b>Figura 4.9</b>	Resultado da geração do DTM no software SPRING – usando os pontos cotados e curvas de nível provenientes da restituição de 1990	118
<b>Figura 4.10</b>	Estrutura de dependência espacial para os dados de 1990	126
<b>Figura 4.11</b>	Estrutura de dependência espacial para os dados de 1999	127
<b>Figura 4.12</b>	Estrutura de dependência espacial para os dados de 2000	128
<b>Figura 4.13</b>	Mapa 01 de 1990_100m	129
<b>Figura 4.14</b>	Mapa 02 de 1990_50m	129
<b>Figura 4.15</b>	Mapa 03 de 1990_20m	130
<b>Figura 4.16</b>	Mapa 04 de 1990_10m	130
<b>Figura 4.17</b>	Mapa 05 de 1990_5m	131
<b>Figura 4.18</b>	Mapa 06 de 1990_2m	131

<b>Figura 4.19</b>	Mapa 07 de 1999_100m	132
<b>Figura 4.20</b>	Mapa 08 de 1999_50m	132
<b>Figura 4.21</b>	Mapa 09 de 1999_20m	133
<b>Figura 4.22</b>	Mapa 10 de 1999_10m	133
<b>Figura 4.23</b>	Mapa 11 de 1999_5m	134
<b>Figura 4.24</b>	Mapa 12 de 1999_2m	134
<b>Figura 4.25</b>	Mapa 13 de 2000_100m	135
<b>Figura 4.26</b>	Mapa 14 de 2000_50m	135
<b>Figura 4.27</b>	Mapa 15 de 2000_20m	136
<b>Figura 4.28</b>	Mapa 16 de 2000_10m	136
<b>Figura 4.29</b>	Mapa 17 de 2000_5m	137
<b>Figura 4.30</b>	Mapa 18 de 2000_2m	137
<b>Figura 4.31</b>	Estrutura de dependência espacial para os dados de 2000 da aerotriangulação	140
<b>Figura 4.32</b>	Mapa 19 de 2000aerotri_100m	141
<b>Figura 4.33</b>	Mapa 20 de 2000aerotri_50m	141
<b>Figura 4.34</b>	Mapa 21 de 2000aerotri_20m	142
<b>Figura 4.35</b>	Mapa 22 de 2000aerotri_10m	142
<b>Figura 4.36</b>	Mapa 23 de 2000aerotri_5m	143
<b>Figura 4.37</b>	Mapa 24 de 2000aerotri_2m	143
<b>Figura 4.38</b>	Ortofoto gerada no sistema ImageStation referente a foto 006 da faixa 02 do voo de 2000 de São José dos Pinhais - PR	151

# Lista de Quadros

---

<b>Quadro 2.1</b>	Sistemas comerciais de fotogrametria digital - referência fevereiro 1996. Fonte: Grün (1996)	21
<b>Quadro 2.2</b>	O estado da arte em fotogrametria digital para as empresas: 3D Mapper Pty Ltd; ADAM Technology; DAT/EM Systems Int'l; DVP Geomatic Systems Inc.; Earth Resource Mapping. Fonte: GIM – International Magazine (2000)	23
<b>Quadro 2.3</b>	O estado da arte em fotogrametria digital para as empresas: ERDAS Inc.; Inpho; ISM – Int. Systemap Corp.; KLT Associates, Inc. Fonte: GIM – International Magazine (2000)	25
<b>Quadro 2.4</b>	O estado da arte em fotogrametria digital para as empresas: LH Systems, LLC; MATRA Systèmes & Information; PCI Geomatics; PMS Photo Mess Systeme G; Racurs Co. Fonte: GIM – International Magazine (2000)	27
<b>Quadro 2.5</b>	O estado da arte em fotogrametria digital para as empresas: RWEL, INC.; SmartTech; Stora Enso Forest Consulting Ltd; WB Geomap; Z/I Imaging. Fonte: GIM – International Magazine (2000)	29
<b>Quadro 3.1</b>	Definição do modelo estereoscópico 3-7 e 3-8	74
<b>Quadro 3.2</b>	Definição do modelo estereoscópico 3-8 e 3-9	74
<b>Quadro 3.3</b>	Definição do modelo estereoscópico 3-9 e 3-10	74
<b>Quadro 3.4</b>	Definição do modelo estereoscópico 2-8 e 2-7	74
<b>Quadro 3.5</b>	Definição do modelo estereoscópico 2-7 e 2-6	74
<b>Quadro 3.6</b>	Definição do modelo estereoscópico 2-6 e 2-5	74
<b>Quadro 3.7</b>	Relação entre o software de ajustamento Photo T e PAT B	83

## Lista de Tabelas

---

<b>Tabela 2.1</b>	Características dos Métodos de Inferência Fonte: Geoestatísticas Fundamentos e Aplicações (2001) Autor: Eduardo Celso Gerbi Camargo	56
<b>Tabela 3.1</b>	Parâmetros usados na configuração da câmera fotogramétrica	71
<b>Tabela 3.2</b>	Relação dos pontos de apoio tomados por GPS	73
<b>Tabela 3.3</b>	Resolução das grades retangulares para geração do modelo 3D	95
<b>Tabela 3.4</b>	Resolução das grades retangulares de 2m para geração do modelo 3D	95
<b>Tabela 4.1</b>	Relação entre resoluções, DPI e tamanho do arquivo em fotos aéreas. Fonte: Kraus (1997)	109
<b>Tabela 4.2</b>	Relação entre escalas e intervalos recomendados para a digitalização. Fonte: Kraus (1997)	109
<b>Tabela 4.3</b>	Comparação entre os sistemas fotogramétricos digital	114
<b>Tabela 4.4</b>	Produtos Cartográficos e resoluções de <i>grid</i> utilizados para geração dos MNT's	119
<b>Tabela 4.5</b>	Resultado após verificação da dependência espacial nos dados de 1990	121
<b>Tabela 4.6</b>	Resultado do teste de normalidade de Jones ao nível de 5% de significância	121
<b>Tabela 4.7</b>	Resultado após verificação da dependência espacial nos dados de 1999	122
<b>Tabela 4.8</b>	Resultado após verificação da dependência espacial nos dados de 2000	122
<b>Tabela 4.9</b>	Resultados da análise geoestatística para os dados de 1990	123
<b>Tabela 4.10</b>	Resultados da análise geoestatística para os dados de 1999	123
<b>Tabela 4.11</b>	Resultados da análise geoestatística para os dados de 2000	123
<b>Tabela 4.12</b>	Resultado após verificação da dependência espacial nos dados de 2000 aerotriangulados	138
<b>Tabela 4.13</b>	Resultado após o uso do software Idrisi, usando o estimador robusto de Cressie e Hawkins	138

<b>Tabela 4.14</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos de 1990	145
<b>Tabela 4.15</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos de 1999	146
<b>Tabela 4.16</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos de 2000	147
<b>Tabela 4.17</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos de 2000 aerotriangulados	147
<b>Tabela 4.18</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 100x100m	148
<b>Tabela 4.19</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 10x10m	148
<b>Tabela 4.20</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 50x50m	149
<b>Tabela 4.21</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 5x5m	149
<b>Tabela 4.22</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 20x20m	149
<b>Tabela 4.23</b>	Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 2x2m	149

# Lista de Siglas e Abreviaturas

---

<b>ASCII</b>	American Standard Code for Information Interchange
<b>AW</b>	AutoWinder
<b>breakline</b>	Linha de quebra, contendo as principais feições do terreno
<b>CAD</b>	Computer Aided Design
<b>CCD</b>	Charge Couple Device
<b>DPW</b>	Digital Photogrammetric Workstation
<b>DTM</b>	Digital Terrain Model
<b>EPR</b>	Efeito Pepita Relativo
<b>GCP</b>	Ground Control Points
<b>GIS</b>	Geographic Information System
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>GRID</b>	Grade regular
<b>HV</b>	Horizontal Vertical
<b>IAP</b>	Instituto Ambiental do Paraná
<b>INPE</b>	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
<b>ISDC</b>	ImageStation DTM Collection
<b>ISDM</b>	ImageStation Digital Mensuration
<b>ISFC</b>	ImageStation Feature Collection
<b>ISPM</b>	ImageStation Photogrammetric Manager
<b>ISSD</b>	ImageStation Stereo Display
<b>JPEG</b>	Joint Photographic Experts Group
<b>LIS</b>	Land Information System
<b>LUT</b>	Lookup Table
<b>MDT</b>	Modelo Digital do Terreno
<b>MMQ</b>	Mínimos Múltiplos Quadrados
<b>MNT</b>	Modelo Numérico do Terreno
<b>OA</b>	Orientação Absoluta
<b>OE</b>	Orientação Exterior
<b>OI</b>	Orientação Interior

<b>OR</b>	Orientação Relativa
<b>pathway</b>	Caminho a ser percorrido para medir as coordenadas 3D
<b>Phodis AT</b>	Phodis Aerotriangulation – módulo de aerotriangulação
<b>Phodis SC</b>	Phodis Scanner (SCAI) – módulo de escanerização
<b>pl/mm</b>	pares de linha por milímetro
<b>REC</b>	Rectangular Network – Rede retangular
<b>RETAC</b>	Rede de Tecnologia Aeroespacial e Cartográfica
<b>SAD</b>	South American Datum
<b>SJP</b>	São José dos Pinhais
<b>TIFF</b>	Tagged Image File Format
<b>TIN</b>	Triangular Irregular Network – Rede triangular irregular
<b>TLD</b>	Tiled (formato azulejo)
<b>UFSC</b>	Universidade Federal de Santa Catarina
<b>UTM</b>	Universal Transverso de Mercator
<b>*1990_100</b>	Essa nomenclatura corresponde ao produto cartográfico de 1990, apresentando malha planimétrica com espaçamento de 100 por 100 metros.
<b>*1990_50</b>	Essa nomenclatura corresponde ao produto cartográfico de 1990, apresentando malha planimétrica com espaçamento de 50 por 50 metros.
<b>*1990_20</b>	Essa nomenclatura corresponde ao produto cartográfico de 1990, apresentando malha planimétrica com espaçamento de 20 por 20 metros.
<b>*1990_10</b>	Essa nomenclatura corresponde ao produto cartográfico de 1990, apresentando malha planimétrica com espaçamento de 10 por 10 metros.
<b>*1990_5</b>	Essa nomenclatura corresponde ao produto cartográfico de 1990, apresentando malha planimétrica com espaçamento de 5 por 5 metros.
<b>*1990_2</b>	Essa nomenclatura corresponde ao produto cartográfico de 1990, apresentando malha planimétrica com espaçamento de 2 por 2 metros.

\* Deve-se ainda considerar que foi adotada nomenclatura similar, representando o espaçamento entre as malhas na geração dos MDT's, para os produtos cartográficos de 1999, 2000 e 2000\_aerotriangulados. Portanto: 1999\_100, 1999\_50, 1999\_20, 1999\_10, 1999\_5, 1999\_2; 2000\_100, 2000\_50, 2000\_20, 2000\_10, 2000\_5, 2000\_2; 2000aerotri\_100, 2000aerotri\_50, 2000aerotri\_20, 2000aerotri\_10, 2000aerotri\_5 e 2000aerotri\_2.

## Resumo

---

O processo tecnológico, associado a engenharia torna-se cada dia mais avançado. Em todos os eventos científicos sempre há um enfoque nas aplicações da tecnologia moderna à engenharia, seja ela qual for. Não diferente a essa situação encontra-se a engenharia cartográfica. Com o avanço tecnológico a cartografia digital toma espaço e ganha credibilidade dia-a-dia na sociedade. Especial atenção deve ser dada à geração da cartografia tridimensional, pelo simples fato de ser uma representação mais sofisticada da superfície terrestre e que deve retratar na íntegra a situação real do terreno. Vinculado a esta temática, o trabalho confronta a tecnologia consagrada – *cartografia analítica* com a nova tecnologia – *cartografia digital*, na geração de produtos cartográficos de qualidade planialtimétrica. Além disso, aplica a geoestatística e avalia a qualidade dos produtos cartográficos altimétricos, gerados através da cartografia analítica e digital para o Município de São José dos Pinhais – Paraná. Obtendo-se os resultados da qualidade geométrica tridimensional dos produtos cartográficos analisa-se o uso no cadastro técnico multifinalitário urbano e consequentemente no planejamento urbano.



## Abstract

---

The technologic process related to engineering becomes day after day in advanced. Thus, in many scientific events there are always one strong focus on modern technology applied to the engineering. Not different to this situation encounter cartographic engineering. Where the advance in technology for digital cartography get credibility in scientific society day after day. Special attention must to be give for generate tridimensional cartography, by to be one sophisticated representation of surface and by to represent the full real situation of terrain. Bonded to this theme, the work aim to confront known technology – analitical cartography with the new technology – digital cartography, on the generation of cartographic products with planimetric quality. Besides apply geostatistic for estimate the high quality of heights cartographic products, generated through analitical and digital cartography for municipality of São José dos Pinhais – Paraná. Getting the results of tridimensional geometric quality about cartographic products infers its use for urban multipurpose technical cadastre and also urban planning.

# CAPÍTULO 1

## 1.1 INTRODUÇÃO

---

### 1.1.1.1

O assunto modelagem tridimensional do terreno tem sido continuamente estudado e aprimorado nos últimos 20 anos. Associado a esse tema, o avanço tecnológico voltado a área computacional aconteceu na mesma proporção ou de forma mais acentuada durante este período, entretanto sempre havendo um estreito vínculo de uma tecnologia com a outra.

O crescimento nos estudos e aplicações da modelagem tridimensional do terreno teve um grande impulso na última década em função do desenvolvimento tecnológico da computação gráfica. Paralelamente a este desenvolvimento, vários *softwares* que permitem a visualização em ambiente virtual foram projetados, tornando-se ferramentas de análise e simulação das áreas de estudo.

Ao mesmo tempo houve também um grande avanço na velocidade e facilidade na coleta e aquisição de dados, através do desenvolvimento de equipamentos, como: teodolitos ou distanciômetros para fins geodésicos; instrumentos fotogramétricos semi automáticos ou digitais nos levantamentos suborbitais; e ainda através dos métodos de digitalização de dados tendo como fonte os mapas analógicos.

Assim, tem-se como resultado coordenadas em meio digital (X,Y,Z) que permitem gerar o modelamento 3D do terreno, sendo estes dados aplicados especialmente na engenharia civil, na simulação de ambientes virtuais para arquitetura, no planejamento urbano e/ou rural. Além disso, os dados tridimensionais tem ampla aplicação em simuladores de vôo, planejamentos de radio comunicações, mapeamentos de redes hidrográficas, mapeamentos geológicos, bem como especial uso na engenharia militar, entre outros.

### **1.1. Identificação do Problema**

O Brasil se apresenta mundialmente como um país de dimensões continentais, entretanto com um grande problema a ser resolvido: não possui um mapeamento em escala adequada, que forneça condições para os planejadores desenvolverem os seus trabalhos. Assim, um país que não é cartografado, não é conhecido, mesmo após ter virado o milênio e já completado 500 anos de descobrimento, ainda fica a pergunta no ar: por que o governo não investe no conhecimento do território nacional brasileiro? Até quando haverá carência em qualidade de informação cartográfica confiável em várias escalas associado ao seu potencial produtivo?

Mas se há carência em mapeamentos planimétricos, muito mais há em informações altimétricas. Pesquisadores brasileiros se esforçam para estudar melhor e conhecer as características altimétricas dos estados que compõem a nação brasileira, entretanto as dificuldades encontradas são muitas. O fator de maior peso nessa situação é sem sombra de dúvida a dimensão do país e a definição do geóide, pois os estudos gravimétricos existentes devem ser aprimorados e novos estudos devem ser estimulados. Além disso, deve-se considerar a porcentagem de profissionais especialistas na área, uma vez que o número de cursos de Engenharia Cartográfica em relação a outras engenharias, como Engenharia Civil ainda está aquém do necessário.

Com o avanço da tecnologia, o uso dos softwares voltados a geração de cartografia digital planialtimétrica torna-se cada vez mais fácil e interativo, dessa forma os mais diversos usuários propõem novas técnicas visando gerar mapas básicos ou temáticos. Entretanto, há uma grande preocupação com relação ao vitupério lançado à boa cartografia, pois os sistemas digitais permitem a toda sorte de usuários gerarem mapas sem primar pela qualidade geométrica, a qual inevitavelmente deve estar atrelada a escala e ao objetivo do trabalho. Dessa forma, os mapas muitas vezes não são passíveis de confiança em virtude do despreparo do usuário associado a falta de controle de qualidade na geração do produto cartográfico.

**Deve-se mencionar que o Brasil possui um mapeamento sistemático incompleto em pequena escala, 1:50000 ou menor. Estes mapas são atualmente a principal fonte de informação cartográfica para o desenvolvimento de vários projetos; entretanto na sua maioria estes documentos cartográficos não foram atualizados, nos últimos 40 anos, devido a falta de recursos financeiros e em parte a falta de atenção dos órgãos governamentais. Ainda, há que se considerar a dinâmica do país nestes 40 anos, como exemplo, pode-se afirmar a mudança ocorrida nos Estados de Santa Catarina e Paraná, os quais apresentavam mais de 50% dos seus territórios com cobertura florestal, porém hoje estes percentuais encontram-se abaixo dos 10%. Dessa forma, como usar estes documentos cartográficos (mapas) como referência no desenvolvimento de projetos de pesquisa ou mesmo de engenharia?**

**Os mapas do mapeamento sistemático do Brasil que foram e estão sendo atualizados, em virtude do elevado custo, o foram ou são, de forma muitas vezes não adequada, configurando um controle de qualidade geométrica aquém do estipulado pela norma cartográfica. Tommaselli et al (1988); Galo e Camargo (1994), analisando a qualidade geométrica apresentada em alguns produtos cartográficos do estado de São Paulo, e que se apresentam disponíveis ao público em geral, não se adequam a relação cartográfica básica escala-precisão.**

**Deve-se ainda ressaltar que pela grandiosidade do país algumas instituições nacionais adotaram seu próprio sistema de referência, em virtude de situações peculiares, por exemplo pode-se citar o caso de ITAIPU – Binacional a qual está instalada no Município de Foz do Iguaçu – PR, e que ocupa exatamente uma área de mudança de fuso. Assim, para resolver o problema foi adotado um sistema geodésico de referência local, entretanto ainda foram executados mapeamentos tendo como referência fusos e *Data*<sup>1</sup> distintos. Outra empresa que se vale de um sistema distinto de referência para mapeamento, não oficial nacional é a PETROBRÁS – com o ARATU, conforme comentado em Santos e Benevides (1999).**

Imaginando poder regularizar essa situação existe uma proposta nacional de conversão de todos os mapas em um referencial geodésico único, dessa forma o Sistema SIRGAS – Sistema

de Referência Geocêntrico para a América do Sul, apresenta-se como sendo na atualidade o referencial que homogeneizará todos os documentos cartográficos nacional, permitindo que haja uma interrelação entre projetos, pois estes estarão sendo realizados sobre um mesmo referencial cartográfico, maiores detalhes podem ser encontrados na homepage do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (<http://www1.ibge.gov.br/ibge/geografia/seminario/sirgas/principal.htm>).

Consolidando a idéia da mudança de referencial geodésico, apresenta-se na página de discussão da revista MundoGeo (<http://www.mundogeo.com.br/scripts/forum.asp>) de 2001, uma reportagem que aborda e justifica a necessidade da mudança, no qual entre outros motivos dá-se porque os referenciais antigos, de caráter topocêntrico, não suportam mais a precisão fornecida pelos modernos sistemas de posicionamento. Além disso, a unificação dos sistemas referenciais em uso (Córrego e SAD69), é um passo inevitável para uma gestão moderna e intercâmbio de dados eficiente entre diferentes usuários e instituições.

**Nesta pesquisa pretende-se mostrar o potencial de novas tecnologias para mapeamentos sistemáticos em grande escala, enfatizando a altimetria e sua potencialidade para execução de projetos de engenharia aplicado ao cadastro técnico urbano.**

**O sistema GPS - Global Positioning System é uma ferramenta tecnológica que usada de forma incorreta induz o usuário a conclusões equivocadas. Assim deve-se preparar melhor os usuários, através de cursos e treinamentos específicos, fornecendo suporte necessário para que possam desenvolver trabalhos de qualidade geométrica nos levantamentos de coordenadas, que visam a geração de qualquer representação gráfica (mapas).**

Dessa forma, vislumbrando fornecer maiores informações aos usuários da cartografia, o trabalho proposto objetiva estudar e confrontar o método convencional (analítico) com o digital na geração de produtos cartográficos, mais especificamente o Modelo Digital do Terreno.

## **1.2. Limitações da Pesquisa**

---

<sup>1</sup> Data – Plural da Datum, que significa: marco determinado por meios geodésicos, de alta precisão, que serve como ponto de referência para todos os levantamentos que venham a ser executados sobre uma determinada área do globo terrestre.

A tecnologia utilizada para o desenvolvimento do projeto foi calcada nas pesquisas realizadas em equipamentos e *softwares* fotogramétricos digital desenvolvidos pela empresa Z/I – Zeiss Intergraph, os quais ainda se apresentam para o mercado mundial como uma nova concepção de produção de cartografia. Entretanto, pelo fato do desenvolvimento e aplicação do sistema ser recente, ou seja não haver um histórico de resultados, existe uma série de metodologias na aplicação prática da fotogrametria que devem ser avaliadas.

O Sistema Fotogramétrico Digital – ImageStation, foi adquirido pela Universidade Federal de Santa Catarina – Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, visando formar pessoas com consciência cartográfica, para que possam ser disseminadores no uso e desenvolvimento de modelagem do terreno voltados aos trabalhos de engenharia, bem como para se testar metodologias existentes e gerar novas.

O tema abordado pela pesquisa, ou seja Modelo Digital do Terreno (MDT) é ainda muito questionado quando gerado através da metodologia fotogramétrica digital. Assim existem vários grupos de pesquisadores que desenvolvem trabalhos visando melhorar e aprimorar as técnicas pertinentes a esta temática.

Nos congressos, seminários, *workshops* ou qualquer outro evento científico brasileiro que aborda a cartografia, o tema MDT é sempre visto de forma cautelosa, entretanto existem países que já possuem MDT's em grande parte do seu território, como exemplo pode-se citar a Alemanha e Inglaterra.

Pelo processo natural na execução de qualquer mapeamento, primeiro toma-se cuidado na geração dos dados planimétricos e depois dos dados altimétricos. Ou seja, grande parte dos esforços para o desenvolvimento e melhora da Cartografia seja ela analógica, analítica ou digital, o primeiro passo é sempre consolidar a qualidade planimétrica e então somente depois a altimétrica.

No Brasil, torna-se difícil trocar informações e experiências com empresas e profissionais que trabalham no ramo da cartografia digital, uma vez que esta tecnologia está sendo introduzida e assimilada aos poucos. Assim a experiência com relação ao tema modelagem 3D do terreno foi fortemente consolidado além das fronteiras do Brasil, durante o estágio *sandwich*. De fato, a experiência adquirida em cartografia digital ocorreu junto a especialistas alemães que estudam

o assunto e aprimoram as técnicas, calcados na qualidade geométrica dos produtos cartográficos, tendo por base a relação escala-acurácia.

Grande dificuldade está atrelada a aquisição de dados necessário ao desenvolvimento de qualquer trabalho científico no Brasil, uma vez que é um país novo e sem tradição em mapeamentos, portanto não prima pela sua história e muito menos pelo armazenamento de dados de forma organizada, hierarquizada e principalmente padronizada. Assim, o pesquisador demanda grande parte do seu tempo de pesquisa, levantando, selecionando, filtrando e atualizando dados.

Essa situação é desvantajosa em relação aos países do primeiro mundo, pois é extremamente salutar focar os esforços de uma pesquisa testando várias metodologias e analisando os dados gerados, resultando em trabalhos fundamentados e confiáveis. Na cartografia essa situação não é diferente, assim são poucos os profissionais da área que fazem um controle de qualidade ideal durante o processo de geração dos seus produtos, principalmente em se tratando da tecnologia digital.

Não existe ainda um método matemático/estatístico consagrado e ideal para se classificar, analisar o produto cartográfico digital, especialmente o Modelo Digital do Terreno; dessa forma estudou-se a geoestatística/estatística espacial fazendo-se uma aplicação à situação, tornando-a uma ferramenta na classificação dos produtos cartográficos (mapas altimétricos).

Normalmente quando questiona-se o usuário do setor produtivo sobre a acuracidade do produto cartográfico planialtimétrico, a resposta obtida fundamenta-se em alguns testes simples realizados de forma visual. Entretanto a qualidade geométrica não é provada cientificamente.

Desta forma, pretende-se ainda mostrar que para a geração de produtos cartográficos tão específicos como Modelo Digital do Terreno, o paradigma da acurácia existente entre a cartografia convencional e digital, associado ao método mais adequado em função do objetivo de trabalho, depende muitas vezes da forma como os dados são manipulados.

### **1.3. Justificativa**

Já se passaram quase duas décadas após o primeiro anúncio mundial da existência da tecnologia digital voltada a fotogrametria e cartografia, entretanto existem ainda muitas dúvidas sobre esta técnica. Estas dúvidas concentram-se principalmente sobre a qualidade geométrica

(altimétrica) dos produtos gerados, acarretando na confiabilidade dos mapas e suas aplicações a determinadas obras de engenharia. Além disso, os usuários da cartografia digital ainda não se acostumaram com esta tecnologia e necessitam de parâmetros ou trabalhos que informem a real qualidade dos produtos, tornando popularizado o seu uso e ganhando credibilidade junto a classe usuária.

Quando se trabalhava somente com produtos analógicos, disponibilizá-los para “n” usuários era uma tarefa difícil ou até mesmo impossível. Com o surgimento dos produtos digitais somados aos recursos da informática, tornou-se possível disponibilizar os mesmos produtos para diferentes usuários e ainda gerar subprodutos dos originais disponibilizando-os na rede mundial “internet”.

É de fundamental importância considerar a qualidade dos produtos cartográficos, pois atualmente a precisão cartográfica é alcançada através dos recursos tecnológicos disponíveis, tais como: os sistemas GPS, fotogrametria digital, informática além dos softwares de aerotriangulação e ajustamento de observações que permitem estabelecer parâmetros de qualidade na cartografia.

O modelo digital do terreno é um produto cartográfico considerado de segunda importância em relação ao seu uso, isso porque muitos usuários desconhecem o seu real potencial nas aplicações de obras de engenharia e por estarem acostumados a utilizar somente os dados planimétricos.

A modelagem em ambiente 3D de uma área é uma representação cartográfica que passa a ter cada vez mais interessados, uma vez que atualmente eles podem ser gerados em computadores de pequeno e médio porte, pois há poucos anos atrás manipular os dados tridimensionais no meio digital era quase impossível devido as limitações de softwares e hardwares.

O aumento considerável de usuários e adeptos ao mapeamento tridimensional ganha cada dia mais espaço nos congressos e eventos científicos brasileiros. No congresso de cartografia realizado em Olinda – Recife foram apresentados vários trabalhos enfocando a temática, assim como na Semana de Fotogrametria de 1999 em Stuttgart. Todos estes artigos apresentando experiências e resultados prévios das aplicações do modelado tridimensional do terreno



caracteriza o interesse que está sendo despertado pelos cientistas e estudiosos sobre o tema, versando sempre a cartografia digital.

O estudo do tema modelagem tridimensional do terreno, desenvolvido neste trabalho despertou grande interesse por parte da RETAC - Rede de Tecnologia Aeroespacial e Cartográfica, pois vislumbra-se resgatar a importância, aplicabilidade e eficiência no uso dos dados 3D em projetos de engenharia.

O Brasil, mais especificamente as municipalidades apresentam-se carentes em produtos cartográficos que retratem em escala adequada a situação 3D. Assim a RETAC visa integrar universidade, setor produtivo de cartografia e usuários através do uso e aplicação da tecnologia digital, além de aperfeiçoar e reciclar engenheiros através da transferência de tecnologia internacional ao setor cartográfico.

O Município de São José dos Pinhais – Paraná foi definido como área de interesse ao desenvolvimento da pesquisa devido ao seu histórico cartográfico, ou seja, disponibilidade dos mapeamentos de 1990 e 1999, bem como de dados cartográficos básicos para a geração da cartografia de 2000, além da prévia parceria já existente entre o Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento da UFSC e a Empresa Aerodata – Engenharia de Aerolevantamentos S. A.. Entretanto, um outro fator muito importante deve ser levado em consideração na definição da área de interesse a pesquisa, pois especificamente a região norte do Município de São José, apresenta-se como sendo uma região de grande potencial à ocupação urbana na qual cartograficamente merece ser estudada. Esta área de estudo caracteriza-se como sendo uma região tipicamente plana do primeiro planalto do Estado do Paraná, além disso, percebe-se que segundo os editais públicos de fomento a Modernização do Poder Público mais especificamente nas áreas urbanas, mostram-se favoráveis à ocupação antrópica dos municípios privilegiando área planas com potencial de ocupação urbana.

Considerando o exposto, o aspecto científico neste trabalho encontra-se calcado no estudo e aplicação da geoestatística/estatística espacial, visando realizar o controle/classificação de quatro mapeamentos altimétricos para dois métodos diferentes de geração cartográfica, ou seja métodos analítico e digital. Através da aplicação do primeiro método foram gerados dois produtos em épocas distintas, 1990 e 1999; já utilizando-se os recursos do segundo método, cartografia digital, foram geradas duas outras superfícies 3D datadas de 2000.

Enfim, a necessidade, de se dispor de dados cartográficos altimétricos que possuam uma qualidade cartográfica compatível com sua escala, para que haja confiabilidade na extração de informações que compõem o Modelo Digital do Terreno e sua respectiva aplicação em projetos de engenharia, motivaram o desenvolvimento deste trabalho.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Geral**

Modelagem de terreno usando sistemas fotogramétricos, enfatizando a altimetria e sua potencialidade para execução em projetos de engenharia.

### **1.4.2. Específicos**

- a) Aprofundar os conhecimentos com relação a tecnologia que desponta no novo milênio, ou seja dominar a técnica da cartografia digital, envolvendo desde a sua aquisição até a geração de um produto cartográfico planialtimétrico;
- b) Gerar um MDT – Modelo Digital do Terreno, através do uso do módulo *ImageStation - DTM Collection (ISDC)*;
- c) Confrontar a tecnologia consagrada – *cartografia analítica* com a nova tecnologia – *cartografia digital*, na geração de um produto cartográfico de qualidade altimétrica;
- d) Utilizar e explorar as potencialidades do Método Geoestatístico – na classificação dos produtos cartográficos, quer sejam analíticos ou digitais.

## **1.5. Estrutura do Trabalho**

A concepção geral deste trabalho é apresentada em seis capítulos, nos quais foram abordados temas importantes ao desenvolvimento do projeto. Assim, fez-se uma abordagem consistente sobre Modelo Digital do Terreno e a sua qualidade geométrica, retratando a problemática na coleta, geração e aplicação dos produtos cartográficos tridimensionais à engenharia como um todo.

No primeiro capítulo é apresentada a introdução, identificação do problema, limitações da pesquisa, justificativa e seus objetivos. No segundo capítulo é feita uma breve revisão bibliográfica que dará suporte ao leitor sobre os termos específicos/científicos e uma noção

geral do sistema fotogramétrico digital; assim foram abordados os temas que versam a temática modelo digital do terreno e por fim a técnica estatística que forneceu subsídios para a classificação da acuracidade altimétrica dos produtos cartográficos.

No terceiro capítulo é descrita e caracterizada a área de estudo envolvendo suas particularidades e razões para sua escolha. Os materiais e métodos também são abordados no terceiro capítulo, no qual é descrito passo a passo a metodologia aplicada para o desenvolvimento do projeto assim como todos os equipamentos e *softwares* envolvidos. No quarto capítulo são apresentados os resultados obtidos através do experimento e são feitas as análises pertinentes, já no quinto capítulo são realizadas as conclusões e recomendações sobre o tema: modelo digital do terreno e sua acurácia.

Por fim no sexto capítulo é colocado a disposição do leitor as referências bibliográficas que forneceram o embasamento científico e prático para a concepção e conclusão do projeto.

## **CAPÍTULO 2**

# **FOTOGRAMETRIA, SISTEMAS FOTOGRAMÉTRICOS E GEOESTATÍSTICA**

---

### **1.1.2**

### **1.1.3 2.1. FOTOGRAMETRIA**

#### **2.1.1. DEFINIÇÃO E APLICAÇÃO**

Segundo Kraus (1992), a fotogrametria é a arte e a ciência de determinar a posição e a forma de objetos provenientes de fotografias. Sendo assim, o resultado das medidas fotogramétricas podem ser:

- a) Números – isto é, coordenadas de pontos objetos no sistema de coordenadas tridimensional (captura digital de dados);

- b) Plotagens – isto é, mapas e plantas com detalhes planimétricos e contornos de linhas, junto com outras representações gráficas de objetos;
- c) Imagens – principalmente fotografias retificadas (ortofotos) e mapas derivados das fotos e de imagens digitais.

O conteúdo das fotografias é considerado tão importante quanto a geometria que está associada aos objetos, assim o resultado de cada fotointerpretação é uma classificação dos objetos por feições semelhantes.

A fotogrametria permite a reconstrução dos objetos e a determinação de algumas de suas feições sem tocar nos mesmos. Este método de captura da informação é conhecido como Sensoriamento Remoto.

A principal aplicação da fotogrametria concentra-se na produção de mapas topográficos, assim como mapas de linhas e/ou ortofotos. Os produtos podem ser criados em modernos instrumentos, como digitalizador tridimensional, que se encontram acoplados a microcomputadores com alta capacidade de processamento.

Para o mercado nacional brasileiro a geração de ortofotos e consequentemente Modelo Digital do Terreno (MDT) é muito importante, pois o Brasil é considerado um país de dimensões continentais com demanda adequada à utilização destes produtos cartográficos. A fotogrametria pode também ser usada para criar densos campos de pontos fixos os quais podem servir como base para futuros levantamentos terrestres e levantamentos cadastrais, isto é, determinação de coordenadas de pontos em divisas. A acurácia requerida para as coordenadas depende propriamente da escolha da escala das fotos.

## **2.1.2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA FOTOGRAMETRIA**

### **2.1.2.1. Primeiros desenvolvimentos**

Burtch (1997), comenta que embora a fotogrametria empregue sistemas fotográficos (ou atualmente imageadores digitais) para gerar medidas, os conceitos voltam-se para a história antiga. Leonardo da Vinci em 1492 iniciou o trabalho através do estudo das projeção perspectiva e central. Outros cientistas continuaram com o trabalho matemático. Em 1839, Johann Heinrich Lambert, no tratado “Perspectiva Liber” (The Free Perspective) – a Perspectiva

Livre, desenvolveu os princípios matemáticos das imagens perspectivas usando recessão espacial para encontrar o ponto no espaço do qual a imagem é feita.

**A primeira foto foi obtida por N. J. Niépce. A imagem positiva foi adquirida por Niépce em oito horas de exposição. Em 1837, Jacques Mandé Daguerre obteve a primeira fotografia “prática” usando o processo chamado de “Daguerreotype”. Por volta de 1840, o geodesta Francês Dominique François Jean Arago iniciou a defesa do uso da “fotogrametria”, usando o “daguerreotype”, na Academia Francesa de Ciência e Artes.**

#### **2.1.2.2. Ciclos de Desenvolvimento**

**O desenvolvimento da fotogrametria ocorreu por volta de 1850, seguiu quatro ciclos de desenvolvimento, Konecny 1985. Cada um desses períodos teve uma duração média de 50 anos. Estes ciclos incluem:**

- a) Período básico de planejamento para concepção da idéia sobre a ciência fotogrametria, de 1850 a 1900;
- b) Fotogrametria analógica, período compreendido entre 1900 e 1960;
- c) Fotogrametria analítica, iniciou em 1960 e permanece até a época atual, e
- d) Fotogrametria digital, a qual iniciou justamente para subsidiar as necessidades da indústria fotogramétrica.

**Konecny (1985), afirma que os ciclos de desenvolvimento estão puramente baseados na teoria econômica de Kondratjew. Depois cada ciclo, torna-se presente no processo evolutivo em função de uma invenção básica necessária. A primeira instrumentação prática seguiu os 10 – 15 anos.**

#### **2.1.2.3. Planejamento da Fotogrametria**

Em 1849, Aimé Laussedat (Abril 19, 1819 – Março 18, 1907) foi a primeira pessoa a usar fotografias terrestres para realizar compilação de mapas topográficos. Ele é conhecido como o “Pai da Fotogrametria”. O processo usado por Laussedat era conhecido por iconometria (icon (grego) – imagem, -metry (grego) o qual é a arte, processo, ou ciência de medida).

Em 1858, ele experimentou adquirir fotografias aéreas utilizando como recurso para aquisição um “papagaio – pipa”. Em 1862, o uso de fotografias de Laussedat para mapeamento foi oficialmente aceito pela Academia de Ciência de Madri. Ele também tentou adquirir fotografia por balão, mas abandonou por causa da dificuldade de obter um número suficiente de fotografias que recubra toda a área de interesse. Na exposição de 1867 em Paris, Laussedat exibiu o primeiro fototeodolito conhecido, bem como os seus primeiros passos para executar o levantamento fotográfico do plano de Paris. Depois, por meio de comparação, os mapas gerados se ajustaram favoravelmente a mapas compilados através do método convencional de levantamento a campo.

O porta placa da fotogrametria é uma extensão do porta placa convencional do levantamento (Konecny, 1985). Cada estação de exposição foi determinada através de uma resseção e determinado em um porta placa. As fotos expostas foram orientadas no porta placa e a direção para os diferentes objetos foram transferidos para as folhas que compuseram os mapas.

Com o advento da fotografia e a habilidade de se adquirir fotos aéreas, houve um interesse na aplicação desta tecnologia para o uso militar. Em 1855, Nadir (Gaspard Felix Toumachon) utilizou um balão a 80 metros de altura para adquirir fotos aéreas. Devido ao sucesso da experiência, em 1859 o imperador Napoleao ordenou que Nadir obtivesse fotos de reconhecimento para que se pudesse realizar a estratégia de guerra na Batalha de Solferino.

Durante a Guerra Civil Americana, fotografias de balão foram obtidas para a Batalha de “Fair Oaks” e da cidade de “Richmond”. Na Guerra Franco-Alemã durante os anos de 1870, o exército Prussiano instalou um campo fotográfico visando obter estereoscopia da cidade de Strasbourg.

Na Italia, Ignazio Porro (1801 – 1973) desenhou o fotogoniômetro em 1865, tendo esta descoberto sido muito significativa, pois permitiu a Porro a compreensão da distorção das lentes. Sua aproximação era de olhar para a imagem com um telescópio através de lentes de câmeras. Este conceito foi também independentemente considerado por Carl Koppe (1884 – 1910). Entretanto, este conceito é chamado de princípio de Porro-Koppe. Em 1868, o Chevallier Frenchman desenvolveu o “porta placa fotográfico”. Esta câmera expunha o porta placa na posição horizontal, no qual os raios de luz eram defletidos para os ângulos certos usando um prisma anexado ao ponto de vista o qual poderia ser rotacionado.

Em 1885, Georg Eastman descobriu que nitrocelulose podia se usada base de filme, por outro lado F. Stolze descobriu o princípio da marca flutuante, no qual é usada até hoje para realizar medidas estereoscópicas. Nos Estados Unidos C. B. Adams inventou a linha de triangulação radial no empenho de graficamente resolver o princípio da fotogrametria no porta placa para imagens provenientes de vôos de balão. Em 1893, Dr. Albrecht Meydenbaur (Abril 30, 1834 – Novembro 15, 1921) foi a primeira pessoa a usar o termo “fotogrametria”.

#### **2.1.2.4. Fotogrametria Analógica**

**Dois importantes desenvolvimentos foram necessários para o avanço da fotogrametria nesta segunda fase – fotogrametria analógica (Konecny, 1985). Primeiro, a estereoscopia foi intensamente usada. Segundo, o desenvolvimento do avião pelos irmãos Wright em 1903. Isto forneceu uma plataforma melhor do que a câmera terrestre.**

No Canadá, Edouard Deville (Fevereiro 26, 1849 – Setembro 21, 1924), o “Surveyor General of the Dominion”, inventou em 1896 o primeiro restituidor estereoscópico – instrumento chamado de Stereo-Planigrafo.

**Enquanto tentavasse utilizar as fotos com superposição estéreo, desenvolviasse a complexidade dos instrumentos, mesmo estes tendo pouco tempo de uso.**

**Dessa forma, para transferir uma imagem para um mapa, o método de projeção era aplicado através do uso do canevá ou gride (chamado Método de Gride Canadense)**

**Theodore Scheimpflug, um austriaco desenvolveu a teoria do duplo projetor, na qual oferece uma visão direta da projeção da imagem. Ele também apresenta o método que preserva a sustentação do foco na retificação de fotografias, o qual é chamado de condição de Scheimpflug. Assim, para ter um foco refinado quando o negativo e o plano positivo não estão paralelos, o plano negativo, o plano positivo e o plano das lentes (plano perpendicular ao eixo ótico) devem se interseccionar ao longo de uma mesma linha.**



**Em 1899, o Alemão Sebastian Finsterwalder iniciou a publicação de periódicos versando sobre a temática, fotogrametria analítica. Quando estudou recessão de um simples ou duplo pontos no espaço, ele mostrou a existência de uma superfície crítica para uma recessão de um simples ponto.**

**Usando a terminologia vetorial, Finsterwalder mostrou a condição analítica que deve ser encontrada pela intersecção dos feixes de raios. No seu artigo “Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie” (Os fundamentos geométricos da Fotogrametria), publicado em 1899, Finsterdwalder descreve os princípios modernos da dupla imagem fotogramétrica e a metodologia da orientação absoluta e relativa. Além disso, ele introduz a necessidade da redundância de raios para recriar a geometria apropriada e usar a teoria dos métodos quadrados para descrever o relacionamento dos vetores que correspondem aos raios.**

Em 1901, Dr. Carl Pulfrich (Setembro 24, 1858 – Agosto 12, 1929) desenhou o primeiro estereocomparador empregando as escalas das coordenadas X e Y. Este foi o primeiro instrumento fotogramétrico fabricado pela empresa Carl Zeiss. Pulfrich é algumas vezes considerado como o “Pai da Estereofotogrametria”. Ao mesmo tempo, Dr. Henry George Fourcade (Julho 8, 1865 – Janeiro 19, 1948), da África do Sul, independentemente desenvolveu um similar estereocomparador. Ele foi a primeira pessoa a discutir a necessidade de reseau em uma câmera fotogramétrica para adquirir medidas estereoscópicas.

**Na Alemanha, Ritter von Orel (Novembro 5, 1877 – Outubro 24, 1941), em 1907, desenvolveu o primeiro esteroautográfico, este restituidor foi significativo, porque seus princípios de construção foram idealizados para a prática de fotogrametria terrestre em diversas áreas. Isso permitiu com que o operador desenhasse diretamente a elevação dos contornos de terreno. O primeiro protótipo de estereocomparador, usado por Pulfrich foi construído por Zeiss, empregando uma ligação geométrica para com o “Paralelograma de Zeiss”, o qual foi desenvolvido por Pfeiffer e Bauersfeld.**

**O “Orel-Zeiss Esteroautográfico” forneceu contínua operação sem a necessidade de componentes computacional de outros restituidores. W. Bauersfeld, o engenheiro chefe dos Trabalhos da Zeiss, produziu o primeiro esteroplanígrafo no qual é um instrumento**

**estéreo universal de projeção direta. Numerosos outros indivíduos contribuíram para a teoria fotogramétrica e sua instrumentação, Albota (1976).**

**Isto inclui Max Gasser, que construiu o restituidor de projeção dupla para fotografias vertical (conhecido como restituidor Multiplex), o Italiano Umberto Nistri (1895 – 1962) desenvolveu um duplo restituidor de projeção usando a alternância da projeção da imagem, e o Professor Reinhard Hugershoff (1882 – 1941) desenhou o primeiro estereorestituidor universal empregando os princípios de Porro-Koppe, chamado de Aerocartográfico.**

Entre inúmeros desenvolvimentos Hugershoff criou para a fotogrametria o estereocomparador. Este instrumento fazia com que a plataforma da foto moviasse na direção X e Y, enquanto a parte ótica mantinhasse estacionária. O projeto foi o precursor do Zeiss PSK estereocomparador (Gruner, 1971).

**Otto von Gruber (Agosto 9, 1884 – Maio 3, 1942), demonstrou em 1924 a equação da projeção e seus diferenciais, no qual estão fundamentados os princípios da fotogrametria analítica. Seu método de orientação relativa para o estereorestituidor fez com que o processo de orientação tornasse ágil e rápido. De forma similar Earl Church (Agosto 11, 1890 – Maio 11, 1956) também contribuiu para a teoria da fotogrametria analítica. Ele desenvolveu a solução analítica por recessão espacial, orientação, intersecção, retificação e controle externo usando a direção dos cossenos. Church, como professor da Universidade de Syracuse e um dos membros fundadores da Sociedade Americana de Fotogrametria, é referido como o “Pai Americano da Fotogrametria” (Quinn, 1975).**

**Entre os primeiros pioneiros da fotogrametria americana estão incluídos os irmãos Arthur Brock Jr. (Janeiro 12, 1887 – Fevereiro 10, 1943) e Norman H. Brock (Abril 23, 1890 – Janeiro 29, 1965) os quais junto com Edward H. Cahill desenvolveu as câmeras aéreas e os instrumentos restituidores (Tubis, 1976). Eles foram o primeiro a criar a câmera aérea que foi instalada em um avião. O mapeamento definido por Brock requer a execução de alguns passos. Em (Tubis, 1976), fica identificado estes passos:**

- a) produzir negativos de fotos áreas em placas de vidro;**
- b) identificar a posição horizontal das fotografias;**

- c) horizontalidade ou deriva de fotos;
- d) delineamento de contornos e culturas;
- e) equalização da escala;
- f) organização da informação fotográfica na forma de mapa final.

**Esta sucessão de operações são necessárias a uma série de equipamentos, incluindo projetor de ampliação, projetor de correção, estereômetro e instrumento traçador.**

**Sherman Mills Fairchild (Abril 7, 1896 – Março 28, 1971) foi o empreendedor que tornou-se um homem de sucesso nos negócios voltados a fotogrametria (Doyle, 1980). Ele desenvolveu o obturador para lentes, usando uma lâmina giratória. Este processo aprimorou a qualidade das imagens tornando-as melhor definida e reduzindo as suas distorções. Após dar forma a câmera aérea em 1920, Fairchild desenvolveu a câmera K-3 e seus sucessores. Na tentativa de ajudar a vender câmeras aéreas, Fairchild iniciou uma nova companhia que usava fotos aéreas para gerar fotomapas.**

Os pilotos reclamavam sobre os planos de vôos que eles tinham que executar nas missões a campo, assim como o fato de que eles e os fotógrafos tinham que usar a mesma entrada no avião. Fairchild fundou a Companhia de Aviação Fairchild e desenhou uma cabine em um monoplane chamada FC-1 para resolver o problema. Enquanto Fairchild continuamente construía e desenhava novas versões de câmeras aéreas, duas de suas notáveis câmeras foram consideradas de pior mérito.

Desenvolveu-se primeiramente a câmera 9 lentes para o US Coast e o Geodetic Survey na qual consistia de 1 foto vertical e oito oblíquas. A não originalidade da câmera é que todas as lentes foram montadas verticalmente. A imagem foi formada por reflexão da superfície frontal do espelho. A companhia de Fairchild também desenvolveu a câmera de Mapeamento Lunar que foi usada nas missões da Apollo 15, 16 e 17.

**Em 1933, Robert Ferber da França, desenvolveu o restituidor direto com inversão de projeção de imagem. Três anos depois ele adquiriu a patente do U.S. para o Restituidor Gallus-Ferber, no qual permitiu a primeira produção de um instrumento de ortofoto, embora não tenha sido usado muito por não ser econômico (Lawrence e Powell, 1968).**

Este restituidor consistia de uma projeção anaglifo que era usada para aumentar ou abaixar uma das projetores, entretanto o projetor móvel não tinha anexado a ele nenhum filtro. Nos U. S., Russel Kerr Bean contribuiu significativamente com o avanço dos instrumentos fotogramétricos, em 1956 ele patenteou o “Refletor Elipsoidal para projetor – Restituidor Estero-Fotogramétrico” conhecido como ER-55, o qual foi usado pelo US Geological Survey (USGS) durante os anos de 1950 e 1960 (Radlinski, 1985).

Este restituidor aceitou imagem estereoscópica não somente de fotografias vertical, mas também de fotografias convergente oblíqua baixa e oblíqua transversa. Foi considerado o último instrumento a ser fabricado pela companhia ótica Bausch e Lomb, como um restituidor Balplex. Em 1959, foi agraciado com a patente de um ortoscope. Este instrumento produziu fotografias, considerando o mesmo nível de acuracidade e fração de custos que os mapas. O instrumento de ortofotocscope de Bean foi diferente do instrumento de Farber, pois empregava uma superfície com filme móvel. Esta superfície tinha um encaixe perfeito no qual permitiu a movimentação nas direções X e Y (Lawrence e Powell, 1968). Bean também desenvolveu um sistema de calibração de câmeras consistindo de um banco de colimadores no qual a resolução dos alvos é projetada nos filmes.

**Harry T. Kelsh (Novembro 15, 1889 – Janeiro 30, 1979) fez uma importante contribuição para os instrumentos fotogramétricos no desenvolvimento do estereorestituidor Kelsh em 1945. Este restituidor de projeção ótica ofereceu aos fotogrametristas a oportunidade de melhorar a acuracidade de mapeamento, desconsiderando o alto custo existente nos estereorestituidores europeus.**

#### **2.1.2.5. Fotogrametria analítica**

**A invenção do computador (por Zuse na Alemanha em 1941 e independentemente por Aiken nos EUA em 1943) trouxe significantes avanços ao desenvolvimento da fotogrametria depois de 1950 (Konecny, 1985). Dessa forma, considerando o avanço da informática iniciou-se o terceiro ciclo do desenvolvimento da fotogrametria, ou seja, a fotogrametria analítica. Em 1953, Dr. Hellmut Schmid, através do Laboratório de Pesquisa em Balística, Aberdeen, Maryland, desenvolveu o princípio da fotogrametria analítica por multi-estação, usando o princípio de matrix de identificação. Assim, importantes feições para a aproximação são consideradas através da aplicação rigorosa do método dos**

mínimos quadrados, bem como é determinada simultaneamente a solução para qualquer número de fotografias, além de um completo estudo da propagação dos erros. Duane Brown é considerado o responsável por continuar os estudos em fotogrametria analítica, enquanto similar trabalho foi desenvolvido por Schmid e paralelamente por empresas privadas.

Uki Helava, em 1957 desenvolveu o estereorestituidor analítico. Este instrumento usa servocontroles ao invés de sistema ótico-mecânico (Konecny, 1985). Um computador foi usado não somente para dirigir o instrumento pelo estereomodelo, mas também para digitalmente transformar as coordenadas entre o sistema de imagem para o sistema de mapa.

#### **2.1.2.6. Fotogrametria Digital**

Em 1958, Gilberto Hobrough, do Canadá, desenvolveu o método de correlação entre imagens. Este instrumento é uma importante parte do ciclo da fotogrametria digital, no qual é usada para a produção da modelagem digital do terreno, bem como o desenvolvimento rápido, através do meio eletrônico para geração de ortofotos.

#### **2.1.3. TEORIA SOBRE A FOTOGRAMETRIA DIGITAL**

A fotogrametria encontra-se atualmente na era digital, graças a um processo evolutivo acelerado que aconteceu no decorrer das últimas décadas; assim torna-se difícil abordar a fase digital da fotogrametria sem antes comentar sobre as etapas analógica e analítica que deram suporte a esta era.

O ramo da fotogrametria na qual se trabalha/manipula com fotografias e continua durante todo o seu processo utilizando-se de instrumentos ótico-mecânico é conhecido como fotogrametria analógica; sucessivamente a esta etapa surgiu o ramo da fotogrametria que inicia o processo de forma similar ao analógico usando fotografias, mas continua todo o processo fotogramétrico utilizando-se de instrumentos computacionais, o qual é chamado de fotogrametria analítica; e o terceiro e mais atual processo fotogramétrico, conhecido como fotogrametria digital, no qual, os

dados (fotografias aéreas) são digitalizados e todo o processamento é realizado via computador.

Através do emprego da tecnologia digital a iluminação da imagem plana na câmara não é gravada fotograficamente, mas por meios eletrônicos; então as técnicas computacionais simulam o reconhecimento e a visão humana, Kraus (1992).

Segundo Heipke (1993), a fotogrametria digital ou de “*softcopy*” é uma tecnologia de informação que captura informações geométricas, radiométrica e semântica de objetos provenientes do mundo 3D para o 2D por meio de imagens digitais. Este tema tornou-se enfoque principal de pesquisa na última década, embora as primeiras atividades datem de quase 40 anos atrás (Rosenberg 1955). Várias razões podem ser listadas para justificar o interesse crescente nesta tecnologia. A mais importante provavelmente é a disponibilidade de imagem em meio digital a partir da década de 70, devido ao progresso revolucionário na ciência da computação. Como consequência, tornou-se realidade processar estes dados, e então a imagem em meio digital figurou como matéria prima na manipulação executada por meio do processamento automático. Tradicionalmente, a tarefa principal da fotogrametria foi dar suporte na criação e atualização das informações topográficas. O estéreo processamento foi usado por muito tempo para executar esta tarefa, uma vez que apresentava bons resultados em precisão.

Com o advento de fotogrametria digital a necessidade sobre as informações não mudou, o que mudou e continua mudando é o emprego dos métodos de processamento de imagem. Considerando que em fotogrametria analítica o operador humano tem que capturar todos os dados manualmente, no domínio digital ele se torna tão somente um supervisor no processo de identificação semi-automática. Em decorrência da aplicação desta tecnologia digital os resultados são armazenados em bancos de dados de Sistemas de Informação Geográfico (SIG), e não mais na forma analógica em papel ou filme.

#### 2.1.4. Introdução aos Sistemas de Fotogrametria Digital

**Segundo Walker e Petrie (1996), desde 1992 as estações fotogramétricas digitais “Digital Photogrammetric Workstations” (DPW’s), começaram a migrar suas aplicações do enfoque militar para a área comercial. Este processo de transformação demorou 10 anos**



Leica/ Helava	DPW 670 DPW 770	SUN	UNIX	Du Pont processor	Mono, Tektronix Stereo	X/Motif	OR, AT, DTM, TIN, OP, DM, VI, OM, SCA, DAT	1994	Frame, panoram., SPOT, Landsat
Leica/ Laval Univ.	DVP	PC	DOS PS/2		Split screen/ Stereoscope		OR, DM, AT, OP, DTM, TIN, MP	1989	Frame, satellite
Intergraph	InterMap 6887 ImageSt.	Intergraph Work- Station	UNIX	ViTec VI-50 image comp., (de) compressor	Stereo Graphics	X/Motif	OR, AT, DTM, TIN, OP, DM, VI, SCA, DAT, OM, IP, GIS	1992	Frame, SPOT
Zeiss	Phodis ST	SGI	UNIX		Stereo Graphics	X/Motif	OR, AT, DTM, TIN, OP, DM, DAT, SCA, (MP, OM) <sup>3</sup>	1993	Frame
I'S DATRON	PRISM	SUN, SGI, HP	UNIX		Mono, StereoGraph	X/Motif	AT, OM, OP, DC, DM, DTM, IP, GO, OR, TIN, VI, GIS, RS	1990	Frame SPOT, SAR
Matra MS2i	Trater T10	SUN	UNIX	Dedicated processors	Tektronix stereo	X/Motif	OR, DM, DTM, TIN, AT, VI, OP, GIS	1990	Frame, Satelite
ISM <sup>4</sup>	DIAP	PC	DOS UNIX		Stereo - Graphics		OR, AT, DTMm, TIN, OP, DM, VI, SCA	1992	Frame
Vision Int'l 5	Softplotter	SGI	UNIX		Stereo - Graphics	X/Motif	OR, AT, DTM, TIN, IP, OP, DM <sup>6</sup>	1994	Frame, SPOT
Vision Int'l	Kork DMS OrthoKork <sup>7</sup>	PC	Windows, Windows NT		Mono		DM, OP, OM	1994	Frame
R-WEL, Inc.	DMS	PC	DOS		Anaglifo		OR, DTM, OP, DM, VI, RS	1987	Frame, satelite
	Stereodigit	PC	UNIX		Dual monitor/ pass. Polar. Glasses		OR, DTMm, DM	1993	Frame
	Orthomap	PC	UNIX		Mono		OP, MP, OM	1990	Frame
DAT/EM	Digitus	Various	UNIX		Stereo - Graphics	X/Motif	OR, AT, OP, DM	1993	Frame
Topcon	PI-1000	PC	DOS		3D display, pol. glasses		OR, DTM, DM	1988	Frame



VirtuoZo Inc.	VirtuoZo <sup>6</sup>	SGI	UNIX		StereoGr. Anaglifo	X/Motif	OR, DTM, OP, DM, TIN, VI	1992	Frame, SPOT
INPHO	Var. S/W packages	SGI	UNIX		Mono	X/Motif	OR, DTM, TIN, GPS, DAT	1993	Frame
PCI	Easi/Pace	Various	UNIX, DOS, Windows		Mono	X/Motif	OM, DM, DTM, OP, OR, GIS, RS, IP, VI	1991	Frame, Satelite, Radar
Erdas/Auto metric	Orthomax	SUN, SGI	UNIX		Stereo - Graphics	X/Motif	AT, DM, DTM, TIN, OP, OR, IP, RS, raster GIS, VI	1992	Frame, SPOT

<sup>1</sup> Em alguns casos os produtos aparecem no mercado depois de terem sido anunciados pelo vendedor. Em outros casos o pleno desenvolvimento do produto demora alguns anos. Assim, o ano e apresentação é somente um indicador.

<sup>2</sup> O sensor do satélite refere-se a maioria dos sistemas SPOT and Landsat.

<sup>3</sup> Opção quando se escolhe o Phocus PM.

<sup>4</sup> International Systemap Corp.

<sup>5</sup> Vision International é a parte civil da Autometric Inc.

<sup>6</sup> Uso do software Kork DMS.

<sup>7</sup> O sistema pode fazer uso do pacote TNT-MIPS GIS da Microlmage Inc. para mosaicagem etc...

<sup>8</sup> Anteriormente o produto era conhecido como WuDAMS e desenvolvido pela Technical University of Surveying and Mapping.

**Abreviações usadas no Quadro 2.1 para descrever a funcionalidade do sistema:**

AT	....Aerotriangulação
DAT	....aerotriangulação digital (semi automatizada)
DC	....cartografia digital
DM	....mapeamento digital. Inclue aquisição de feições e atualização
DTM	....aquisição do DTM (automática ou manual)
DTMm	....somente aquisição manual dos dados de linha DTM
GIS	....Funções de GIS. Usualmente para análise, combinação e representação do dado raster
GO	....operações geométricas, medidas de coordenadas, registro e reamostragem e de

imagem	
GPS	....aerotriangulação com GPS acoplados a câmeras aéreas
IP	....processamento de imagem. A maior parte dos sistema tem um rudimentar processamento de imagens, entretanto com grande funcionalidade.
IS	....seqüência de aquisição e análise de imagem
MP	....monorestituição. Usualmente refere-se a extração de feições e atualização de vetores usando uma imagem (tipicamente em ortoimagem)
OM	....criação de mapas com ortoimagem. Envolve a combinação de dados raster e vector e impressão de ortoimagens.
OP	....geração de ortoimagens. Em alguns casos também inclui mosaicagem
OR	....orientações (interior e exterior)
RS	....funções de sensoriamento remoto (tipicamente classificação multiespectral)
SCA	....digitalização de filmes usando o escaner do mesmo vendedor
TIN	....interpolação de um gride regular para o DTM. Deriva outros produtos (contornos e volumes) e sua visualização.
VI	....visualização. Tipicamente inclui a visão perspectiva 3D do terreno.

Atualmente o desenvolvimento dos sistemas de fotogrametria digital encontra-se numa era tecnológica muito recursiva tecnicamente, de 1996 para 2001 o avanço tecnológico foi significativo. A corrida tecnológica visando satisfazer o usuário e abaixar os custos de produção foram e são fatores primordiais para a sobrevivência das empresas de fotogrametria. Em função da evolução tecnológica muitas empresas transitam no mercado de fotogrametria digital num breve espaço de tempo, visando retratar esta realidade, os quadros 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5 retratam o estado da arte sobre fotogrametria digital.

As informações obtidas sobre o estado da arte em fotogrametria digital até o ano de 2000, foram adquiridas junto a revista Holandesa – *GIM – International, The Worldwide Magazine for Geomatics*, julho 2000, volume 14.



Quadro 2.2: O estado da arte em fotogrametria digital para as empresas: 3D Mapper Pty Ltd; ADAM Technology; DAT/EM Systems Int'l; DVP Geomatic Systems Inc.; Earth Resource Mapping.

Fonte: GIM – International Magazine (2000)

Fornecedor	3D Mapper Pty Ltd	ADAM Technology	DAT/EM Systems Int'l	DVP Geomatic Systems Inc.	DVP Geomatic Systems Inc.	Earth Resource Mapping
Modelo	Desktop Digital Phot. Syst. V2	PROMAP ORTHO System 2	Summit PC DPWorkstation	DVP Complete Workstation	DVP Viewer	ER MAPPER 6.1
Data de comercialização	Dezembro - 1998	11 Abril 2000	17 Maio 1999	DOS – 1989; Win 95, NT – 1996	Agosto 1999	Janeiro 2000
Sistema Computacional Requerido						
- Parte do Produto (S/N)	N	N	On solicitado	N	S	Não
- Sistema Operacional	Win 95, 98, 2000, NT V4	Win NT 4.0 SP 4	Win NT	Win 95, 98, NT, DOS	Win 95, 98, NT	Win 95 OSR2 (OEMB), 98, 2000 (RCI) OU NT 4.0 SP3
- CPU (min./perf.)	P 133Mhz / PIII 450Mhz+	Pentium 133 / Pentium III 500+ ou AMD Athlon	Pentium II 400Mhz / Dual Pentium II 550Mhz	Pentium	Pentium	Pentium ou qualquer PC acima IBM compatível
- Memória RAM [Mb] (min./perf.)	16 / 250	32 / 128	128 / 256	64 / 128	64 / 128	32/ recomendado
- Capacidade de armazenagem (min./perf.)	4Gb / 13Gb +	6Gb / 18Gb	9Gb SCSI / 36Gb SCSI Ultra2 / Wide	Definido pelo usuário	Definido pelo usuário	/
- Memória Gráfica [Mb] (min./perf.)	4/8	2/8+, OpenGL	Matrox G400 requer (AGP com 8 RAM)	4 por monitor	4 por monitor	2/8
Sistema de Visualização						
- Memória de Display [Mb] (min./perf.)	Sem aplicação	Restituídor ótico analítico	8/16	Sem aplicação	Sem aplicação	32
- Número de Telas	1 ou 2	1 para geração de ortofoto	Monitor simples ou duplo	1 ou 2	1 ou 2	1, pode trabalhar em dual
- Tamanho e resolução das telas [polegadas/pixel]	14-21 com qualquer resolução de tela/ não informado	17/1024/768	19 ou 21/1024/768	Não informado/640/480 ou melhor	Não informado/640/480 ou melhor	Roda melhor com monitor colorido (16, 24 ou 32 bits)
- Método de separação estereo de imagem	Divisão de tela	Restituídor ótico analítico	Imagem Entrelaçada	Divisão de tela, tela ativa, anaglifo, active goggles	Divisão de tela, anaglifo, entrelaçada	Não suporta – somente UNIX
- Mover/fixar cursor/imagem	Move cursor/fixa imagem	Etapas do restituídor analítico	Move imagem	Move cursor	Move cursor	/
- Intervalo de "zoom"	Ilimitado	3 – 24 vezes contínuo	1 a 16 vezes	0,125 ao infinito	0,125 ao infinito	2
- Controle da marca flutuante (hardware)	Mouse inteligente (roda), teclado ou dois mouses	Restituídor analítico: roda de mão, disco de pé ou joy-sticks	Cursor 3D ou roda de mão e disco de pé	Tudo, mesa, mouse, roda de mão	Mouse	Não
- formato/tamanho/cor da marca flutuante	Tamanho e cor ajustável de marca flutuante (+)	Marca iluminada / 15. 25, 40 ou 60 microns/verde	Várias variações	Adaptável ao usuário segundo conveniência	Adaptável ao usuário segundo conveniência	Não
Imagens e dados						
- Formatos de imagem (importação)	TIFF, JPEG, BMP, DIB	Diapositivos originais	TIFF ou BMP	Qualquer	Qualquer (MrSID, ITIFF)	Suporta 82 formatos
- Dados de formato (exportação)	DWG, DXF, DGN (usando versão MicroStation), ASCII	Suporta vários formatos, incluindo TIFF, JPEG, DXF, MAF (ASCII) para dados	Suporta qualquer um proveniente do AutoCAD ou MicroStation	DGN, DXF, XYZ, ASCII	Importa DGN, DXF, ASCII	21 form. Suporta diretamente, incluindo ER Mapper, GeoTIFF/TIFF, BMP, JPEG,

		vetoriais				ESRI, DXF, EPS, PCX, ASCII
- Técnicas de compressão (S (tipo) / N)	Sim, JPEG	Sim, TIFF e JPEG	Sim, JPEG	Sim	Sim	Sim, ECW
- Inclui recursos de "Backup" (Y/N)	Sim	Não	Win NT	Sim	Não Aplicável	Não aplicável
Processamento de Imagem						
- Manipulação de contraste (Y (tipo) / N)	Não	Sim, automático	Sim, manual	Somente Brilho	Somente Brilho	Sim
- Filtros de convolução (Y / N)	Não	Sim	Não	Sim, somente para ortoprodução	Não aplicável	Sim
- Reamostragem ( Y (Vizinho Mais Próximo, Bilinear, Cúbica) / N)	Sim, todos os modos mais a reamostragem epipolar	Sim, Vizinho mais próximo e bilinear	Sim, Vizinho mais próximo	Sim, somente para ortoprodução	Não aplicável	Sim
- Orientação e Aerotriangulação						
- Automática Interior, Relativa	Interativa	Modelo de orientação interativa no restituidor	Sim, absoluta e exterior	Semi-automática	Semi-automática + X, Y, Z, phi, omega e kappa	Não
- Aerotriangulação Automática (Y / N)	Não	Não, interativa	Sim	Semi-automática, online digital, index	Não aplicável	Não
- Detecção Automática de " Blunder"	Não	Sim	Não	Não	Não aplicável	Não
- Auto-calibração	Não	Não	Não aplicável	Sim	Não aplicável	Não
Extração de feições e mapeamento						
- Recursos de Mapeamento (Y / N)	Sim	Sim	Sim, diretamente no AutoCad e/ou MicroStation	Sim, compatível com arquivos DGN e DXF	Sim, ferramenta de medição	Sim
- Extração semi-automática de linhas	Interativa	Não	Não	Desenvolvendo o aplicativo	Não aplicável	Sim
- Extração de pontos de canto semi-automático	Interativa	Não	Não	Desenvolvendo o aplicativo	Não aplicável	Sim
Modelo de Elevação do Terreno (MET) e Ortoimagens						
- Automática extração de "breakline"	Não	Não	Não	Desenvolvendo o aplicativo	Não aplicável	Sim
- "Matching" automático (Y / N)	Não	Não	Não	Semi-automática	Não aplicável	Sim
- Checagem de "facilities" - Edição do MET	Sim	Sim	Sim	Na captura dos dados	Não aplicável	Sim
- Geração automática de contornos	Sim	Sim	Sim, com módulo adicional	Sim	Não aplicável	Sim
- Mosaicagem interativa de ortimagens (Y/N)	Não	Sim	Sim	Sim	Não aplicável	Sim
- Produção de MET (pontos por segundo)	Manual	Interativo	2	Acima 0.33 (captura, controle, ed.)	Não aplicável	Requerendo
Extração de Informação						
- Maior vantagem deste sistema, comparado aos outros sistemas	Custo baixo, fácil uso, escolha do padrão ou inserido no MicroStation. Nova interfaces de aerotriangulação permitindo gerenciar o custo benefício dependendo da forma de uso.	Produção rápida de ortofotos com qualidade e a acuracidade na geração de vetor de mapeamento são combinados no restituidor PRO-MAP	Admite dados do MicroStation e do AutoCad, fácil de usar, fácil de aprender, funcionalidade no mapeamento, recursivo.	Interface com o MicroStation e agora disponível para o AutoCad, geração de matriz index, tutoriais, compra ou arrendamento.	Leitura automática de fotos aéreas e orientação dos dados do sistema de posicionamento da câmara, cria um mosaico das fotos digitais na posição real.	Sensoriamento Remoto avançado com ortorectificação fácil de usar, balanceamento de cor, mosaicagem e compressão inteligente. Grátis SIG, CAD e Pligins do Microsoft Office.

Quadro 2.3: O estado da arte em fotogrametria digital para as empresas: ERDAS Inc.; Inpho; ISM – Int. Systemap Corp.; KLT Associates, Inc.

Fonte: GIM – International Magazine (2000)

Fornecedor	ERDAS Inc.	ERDAS Inc.	ERDAS Inc.	Inpho	ISM – Int. Systemap Corp.	KLT Associates, Inc.
Modelo	Imagine OrthoBASE	Stereo Analyst	IMAGINE OrthoMAX V 8.3	Inpho.grammetry	DIAP NT	ATLAS DSP (Dig. Stereo Plotter)
Data de comercialização	1999	2000	1992	Julho 2000	1997 (1992, versão DOS)	15 março 1995
Sistema Computacional Requerido						
- Parte do Produto (S/N)	Não	Não	Não	Solicitado	Decisão do usuário	Não
- Sistema Operacional	Win 95, 98, NT	Win NT	IRIX 6.2, SUN Solaris 2.5	Win NT, IRIX, LINUX	Win NT, 2000	Win NT 4.0 ou 2000
- CPU (min./perf.)	Min. 200 Mhz	Min. 200 Mhz	Padrão SGI e Estação de Trabalho	400 Mhz / 600 + Mhz	Pentium/ Pentium III ou equivalente	Pentium II/ dual Fast Pentium III
- Memória RAM [Mb] (min./perf.)	Recomendado 64	Recomendado 64	Recomendado 64	128 / 256+	64 / 128	128Mbs/256Mbs
- Capacidade de armazenagem (min./perf.)	Recomendado 4Gb	Recomendado 4Gb	Recomendado 4Gb e fita 4mm	Depende do projeto	500 Mb/ 9Gb	Ultra Wide SCSI 32 Gbs
- Memória Gráfica [Mb] (min./perf.)	Colorido 24bit, preto/branco 8bit	Deve suportar OpenGL e Stereo-In-A-Window	Colorido 24bit, preto e branco 8bit	8/32+	8/32	8/32
Sistema de Visualização						
- Memória de Display [Mb] (min./perf.)	Sem especial aplicação	8/16	Sem especial aplicação	8/32+	8/32	8/32
- Número de Telas	1	1	1	1 ou 2	Simples ou dual	1
- Tamanho e resolução das telas [polegadas/pixel]	Min. 1024x768	Min. 1024x768	Min. 1280x1024	19 ou 21 / 1280x1024	Qualquer tamanho; max. 1408x1088x2 (L/R)	1280x1024, 1600x1200, etc.
- Método de separação estéreo de imagem	Sem solicitação	Quad buffered – separação da tela em quatro partes	Imagem Entrelaçada sobre ou embaixo	Ativa ou passiva	Pagina sequencial @ 60hz por olho	Todos
- Mover/fixar cursor/imagem	Move cursor / Move imagem	Move e fixa cursor/imagem	Move cursor	Move imagem	Fixa cursor / Move imagem	Ambos
- Intervalo de “zoom”	Ilimitado / Infinito	Zoom contínuo, sem limite	1:16 e 16:1	1x até 16x	Infinito	Ilimitado e contínuo
- Controle da marca flutuante (hardware)	Não aplicável	Teclado, mouse, configuração do usuário	Sim, ajustável	Cursor tridimensional ou volante de mão ou disco de pé	Volante de mão, disco de pé ou controle de mão	Volante de mão, disco de pé ou mão livre “ P-cursor”

					tridimensional	
- formato/tamanho/cor da marca flutuante	Não aplicável	Sim	Sim, ajustável	Muitas variações	Definido pelo usuário	Tudo definido pelo usu
Imagens e dados						
- Formatos de imagem (importação)	TIFF, JPEG, GIS, RAW, ERDAS	TIFF, JPEG, GIS, RAW, ERDAS IMG, Generic	ERDAS IMG, TIFF, Binário, JPEG, GIF	TIFF, Tiled TIFF, Geo TIFF	TIFF ou binário	TIFF, JPEG, VITEC, IMG, RAW, SWATH
- Dados de formato (exportação)	Geo TIFF, DOQ, CIB, suporta outros.	ESRI Shapefile e 3D Shape, Generic ASCII	Geo TIFF, DOQ, CIB	DXF, TIFF, XYZ, ASCII, PATB, SCOP, PEX, PHOREX, BC3	TIFF, Binário, COT, PotScript	TIFF, JPEG, VITEC, IMG, RAW, SWATH
- Técnicas de compressão (S (tipo) / N)	Sim, JPEG	Sim, MrSID	Não	Sim, JPEG	Não	Sim, JPEG
- Inclui recursos de "Backup" (Y/N)	Sim	Sim	Sim	Com pedido	Sim	Não
Processamento de Imagem						
- Manipulação de contraste (Y (tipo) / N)	Sim, interativa	Sim, interativa	Sim, interativa	Sim, manual e automática	Sim, manual	Sim, manual e automática
- Filtros de convolução (Y / N)	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
- Reamostragem (Y (Vizinho Mais Próximo, Bilinear, Cúbica) / N)	Sim, todos os modos são possíveis	Sim, todos os modos são possíveis	Sim	Bilinear e Convolução Cúbica	Sim, Vizinho mais próximo, Bilinear e Convolução Cúbica (em tempo real – forma dinâmica)	Sim
- Orientação e Aerotriangulação						
- Automática Interior, Relativa	Semi automática a interior, orientação relativa automática	Sim	Semi automática a interior, orientação relativa automática	Sim	Ambas	Sim
- Aerotriangulação Automática (Y / N)	Sim	Não	Sim	Sim	Sim, interage com o PAT B	Sim
- Detecção Automática de "Blunder"	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
- Auto-calibração	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Extração de feições e mapeamento						
- Recursos de Mapeamento (Y / N)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim, KLT Atlas
- Extração semi-automática de linhas	Sim	Sim	Sim	Sim, construindo	Não	Não
- Extração de pontos de canto semi-automático	Sim	Sim	Sim	Sim, construindo	Não	Não
Modelo de Elevação do Terreno (MET) e Ortoimagens						
- Automática extração de "breakline"	Coleta automática dos pontos de enlace	Não aplicável	Sim	Não	Não	Sim
- "Matching" automático (Y / N)	Sim	Não aplicável	Sim	Sim	Sim	Sim
- Checagem de "facilities" - Edição do MET	Ferramentas de edição do Raster Imagine	Não aplicável	Sim	Sim	Sim	Sim
- Geração automática de contornos	Sim	Semi-automático	Sim	Sim	Sim	Sim
- Mosaicagem interativa de ortimagens (Y/N)	Sim	Não aplicável	Sim	Não, mas com mosaicagem automática disponível	Sim	Sim
- Produção de MET (pontos por segundo)	Não aplicável	Não aplicável	500	Depende do Hardware	200	Sim, depende do projeto/parâmetros/CPU,

Exatção de Informação						etc...
- Maior vantagem deste sistema, comparado aos outros sistemas	IMAGINE Ortho BASE fornece ilimitado suporte ao sensor da câmara/satélite com completa automação na medição dos pontos de terreno, coleta dos pontos de enlace, remoção de erros e calibração da câmara.	Stereo Analyst é uma solução para baixo custo que permite a coleta de dados 3D, visualização e interpretação de imagens em estereo.	IMAGINE Ortho MAX fornece uma seqência de trabalho fotogramétrico linear para a coleta de informações geográficas 2D e 3D para aplicação em SIG	Configuração completa das aplicações de fotogrametria, processamento em bloco, alto grau de automação.	Dinâmica reamostragem pela forma rotação e bicubica. Alta resolução: 1/256 scan pixel. Fácil configuração e alta produção.	Software totalmente automatizado com um pacote de aerotriangulação para plena produção de ortofoto. Total funcionalidade e performance.

Quadro 2.4: O estado da arte em fotogrametria digital para as empresas: LH Systems, LLC; MATRA Systèmes & Information; PCI Geomatics; PMS

Photo Mess Systeme G; Racurs Co.

Fonte: GIM – International Magazine (2000)

Fornecedor	LH Systems, LLC	LH Systems, LLC	MATRA Systèmes & Information	PCI Geomatics	PMS Photo Mess Systeme G	Racurs Co.
Modelo	SOCET SET V4.2	SOCET SET DP (Digital Plotter)	PRODIGE0 Versão 3.5	OrthoEngine Airphoto edition	ELCOVISION 10	PHOTOMOD Versão 2.11
Data de comercialização	1990	1998	2000		1990	2000 (Primeira Versão – 1994)
Sistema Computacional Requerido						
- Parte do Produto (S/N)	Sob pedido	Sob pedido	Não	Não	Não	Não
- Sistema Operacional	Solaris/ ou IRIX 6.5; Win NT, 2000	W in NT, 2000	Solaris 8	Win 95, 98, NT, 2000, UNIX, LINUX	Win 95, 98, NT 4.0, 2000	Win 9x, NT, 2000
- CPU (min./perf.)	Sun & SGI: ½; PC: 2 highly rec.	Recomendado 2 highly	Ultra 10	Pentium, Pentium II ou Pentium III (para Windows)	Pentium 90/ Pentium 500 ou melhor	Pentium I33 / Pentium III
- Memória RAM [Mb] (min./perf.)	256/512	256/512	128	32/recomendado 64+	64 / 256	16/128
- Capacidade de armazenagem (min./perf.)	Quanto maior a capacidade melhor, depende da solicitação do usuário	Quanto maior a capacidade melhor, depende da solicitação do usuário	18Gb/36Gb	4 Gb	Mínimo 1 Gb	Depende da solicitação do usuário
- Memória Gráfica [Mb] (min./perf.)	Não aplicável	Não aplicável	SUN CREATOR 3D	Sem preferência	4/16 ou mais	2/8
Sistema de Visualização						



- Memória de Display [Mb] (min/perf.)	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável	Requer o padrão windows	4/16 ou mais	2/8
- Número de Telas	1 ou 2	1 ou 2	1 ou 2	Ilimitado	1 ou mais	1 ou 2
- Tamanho e resolução das telas [polegadas/pixel]	Recomendado 21"	Recomendado 21"	21/1280/1024	Uso definido	Mínimo 1024x768	17-21/1024x768 para óculos shutter, anaglifo
- Método de separação estereó de imagem	Divide a tela ou tela cheia com processo de polarização	Divide a tela ou tela cheia com processo de polarização	Não aplicável	Anaglifo	Não aplicável	Anaglifo, óculos shutter/tela
- Mover/fixar cursor/imagem	Todos	Todos	Mover cursor e imagem	Mover cursor ou Mover imagem	Mover cursor	Mover cursor
- Intervalo de "zoom"	0.5x - 2048x	0.5x - 2048x	-64 +64	Acima de 128x, pelo fator de 2	100 a 800%	Ilimitado
- Controle da marca flutuante (hardware)	Mouse, trackball ou volante, controle 3D de mão.	Controle 3D de mão.	Não aplicável	Teclado	Mouse ou teclado	Mouse, trackball, teclado
- formato/tamanho/cor da marca flutuante	Definido pelo usuário	Definido pelo usuário	Não aplicável	Cruzada, uso definido de cor e tamanho		Sim, ajustável
Imagens e dados						
- Formatos de imagem (importação)	Imagens mais populares e formatos de imagens de satélite	Imagens nos formatos mais populares	SPOT, LANDSAT, TIFF, BIL, BSQ, ERDAS, DIGEST, DTED	Acima de 100 formatos usando tecnologia GeoGateway	Todos os formatos de imagens conhecidas (mais ou menos 80 formatos)	TIFF, BMP
- Dados de formato (exportação)	Formato popular das imagens, pontos de controle, dados de triangulação, MDTs, dados vetoriais, Banco de dados para SIG	Formato popular das imagens, pontos de controle, dados de triangulação, MDTs, dados vetoriais, Banco de dados para SIG	BIL, BSQ, TIFF, ERDAS, DIGEST, CARI, CURI, CIB, DTED	Acima de 100 formatos usando tecnologia GeoGateway	Todos os formatos de imagens conhecidos exceto Photo CD	TIFF, DXF, ASCII, DGN, MIF/MID, WinGIS, CADdy
- Técnicas de compressão (S (tipo) / N)	Sim, NITF JPEG, TIFF tiled JPEG, Geo TIFF tiled JPEG, MrSID (somente para leitura)	Sim, NITF JPEG, TIFF tiled JPEG, Geo TIFF tiled JPEG, MrSID (somente para leitura)	Sim, RLE, TIFF, LZW	Sim	Sim, Abic, Huffman, JPEG, LZW, RLE, etc.	Não
- Inclui recursos de "Backup" (Y/N)	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Processamento de Imagem						
- Manipulação de contraste (Y (tipo) / N)	Sim, ambas	Sim, ambas	Sim, manual e automática	Sim, manual e automática	Automática	Sim, manual
- Filtros de convolução (Y / N)	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não
- Reamostragem (Y (Vizinho Mais Próximo, Bilinear, Cúbica) / N)	Sim, todos os modos	Sim, todos os modos	Sim, Bilinear, vizinho mais próximo e convolução cúbica	Sim	Não aplicável	Bilinear
- Orientação e Aerotriangulação						
- Automática Interior, Relativa	Sim	Sim, somado os módulos de orientação e triangulação	Não	Não	Sim	Semi-automático
- Aerotriangulação Automática (Y / N)	Sim	Sim, somado os módulos de orientação e triangulação	Interface para o programa PAT - B	Não	Não	Semi-automático
- Detecção Automática de "Blunder"	Sim	Sim, somado os módulos de orientação e triangulação	Não	Não	Sim	Sim
- Auto-calibração	Sim	Sim, somado os módulos de orientação e triangulação	Não aplicável	Não	Não aplicável	Não
Extração de feições e mapeamento						
- Recursos de Mapeamento (Y / N)	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim
- Extração semi-automática de linhas	Sim	Sim	Não aplicável	Não	Não	Não

- Extração de pontos de canto semi-automático	Sim	Sim	Não aplicável	Não	Não	Não
Modelo de Elevação do Terreno (MET) e Ortoimagens						
- Automática extração de "breakline"	Sim	Sim, somado ao módulo MDT	Não aplicável	Não	Não aplicável	Não
- "Matching" automático (Y/N)	Sim	Sim, somado ao módulo MDT	Sim	Sim, semi-automático pontos homólogos	Não aplicável	Sim
- Checagem de "facilities" - Edição do MET	Sim	Sim, somado ao módulo MDT	Sim	Sim	Não aplicável	Sim
- Geração automática de contornos	Sim	Sim, somado ao módulo MDT	Não aplicável	Não	Não aplicável	Sim
- Mosaicagem interativa de ortimagens (Y/N)	Sim	Sim, somado ao módulo orto-mosaico	Sim	Sim	Sim	Sim
- Produção de MET (pontos por segundo)	> 500	> 500, somado ao módulo MDT	Sim	Manual, depende do operador	I E6 no Pentium 500 class	Acima de 200
Extração de Informação						
- Maior vantagem deste sistema, comparado aos outros sistemas.	Compreensivo, robusto, poderoso: desigual plataforma computacional, sensor (plataforma orbital ou suborbital), formatos, processamentos, sistema integrado de mapeamento e SIG.	Acrescenta hardware e software padrão PC para coleta e edição de feições com MicroStation Geographics, facilidade de upgrade.		Fácil de aprender, simples GUI batch produção orto. Mosaicagem automática com balanço radiométrico de imagem. Um passo para gerar a ortorectificação e mosaicagem	Muito fácil de usar, alta acuracidade, sistema com plugin para AutoCad 14, 2000 e IntelliCAD 2000	Custo – benefício: alto grau de automatização, completa funcionalidade, configuração modular flexível, multitarefa e emprego versátil, compatível com plataforma PC

Quadro 2.5: O estado da arte em fotogrametria digital para as empresas: R-WEL, INC.; SmartTech; Stora Enso Forest Consulting Ltd; WB Geomap; Z/I Imaging.

Fonte: GIM – International Magazine (2000)

Fornecedor	R-WEL, INC.	SmartTech	Stora Enso Forest Consulting Ltd	WB Geomap	Z/I Imaging	Z/I Imaging
Modelo	DMS Versão 4.2	uSMART Softcopy System	EnsoMOSAIC 1.2	SEAGLE Digit	ImageStation 2000	ImageStation SSK
Data de comercialização	1987	Fevereiro de 2000	30 junho de 2000	1997	Maio de 2000	Maio de 2000
Sistema Computacional Requerido						
- Parte do Produto (S/N)	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
- Sistema Operacional	Win 95, 98	Win 95, 98, NT, 2000	Win 95, 98, NT, 2000	Win 98	Win NT	Win NT
- CPU (mín./perf.)	400 Mhz ou mais	500/600	100Mhz/400Mhz	128Mb	Dual Pentium III Xeon, 866 Mhz	Simplex ou Dual Pentium III
- Memória RAM [Mb] (mín./perf.)	64/256	256/512	128/512	2Gb/6Gb	512 expansível para 1Gb ou maior	Mínimo 128Mg

- Capacidade de armazenagem (min./perf.)	4Gb/20Gb	9Gb/18Gb	2Gb/10Gb		91.7Gb (18.3Gb para o drive do sistema e duas de 36.7Gb para o drive de dados) expansível	Mínimo 3Gb
- Memória Gráfica [Mb] (min./perf.)	Super VGA (1024 x 768 x 256) / 1280 x 1024 x 16M	AGP 8/16	4/8	2	Intensive 3D Wildcat 4110, AGP Pro graphics accelerator	Intensive 3D Wildcat 3510, AGP Pro graphics accelerator
Sistema de Visualização						
- Memória de Display [Mb] (min./perf.)	8/16	Não aplicável	Não aplicável	Padrão	32	16
- Número de Telas	1	1 ou 2	Não aplicável	2	1 ou 2 monitores gráfico / estéreo	1 ou 2 monitores gráfico / estéreo
- Tamanho e resolução das telas [polegadas/pixel]	21/1024x768 ou 1280x1024	17, 19/800x600 ou acima	Não aplicável	XX/1064x780	21, 24 ou 28 pancromático / acima de 2.5 Mpix.	21 / XXX
- Método de separação estéreo de imagem	Anaglifo	Screenscope / 3D ativo rápido	Não aplicável	Monoscópico	Quadros sequenciais e entrelaçados	Entrelaçado
- Mover/fixar cursor/Imagem	Move o cursor e fixa a imagem	Imagem se movimenta	Não aplicável	Move o cursor	Todos os modos possíveis	Todos os modos possível
- Intervalo de "zoom"	+5x	Ilimitado	Não aplicável	Fixa os passos 1, 2, 4, 8x	Ilimitado	Ilimitado
- Controle da marca flutuante (hardware)	Teclado	Software	Não aplicável		10 teclas – controle de mão	Mouse 3D
- formato/tamanho/cor da marca flutuante	Círculo/ajustável/vermelho ou azul anaglifo	Definido pelo usuário	Não aplicável	Círculo ou cruzeta	6 padrão + definido pelo usuário	6 padrão + definido pelo usuário
Imagens e dados						
- Formatos de imagem (importação)	LAN, TIFF, DOQ, Landsat, SPOT	TIFF, HMR, A, P, CIT, COT, RGB, RLE, JPG, PCX, RS, TGA, BMP	TIFF, JPEG, ER MAPPER, RAW, PNM, MDC	TIFF, JPEG, AVI	TIFF, Intergraph JPEG, TIFF JPEG	TIFF, Intergraph JPEG, TIFF JPEG
- Dados de formato (exportação)	LAN, TIFF	Fornecer todos os formatos para os usuários	TIFF + arquivo mundial ArcView, Geo-TIFF	ASCII	Mais tipos de imagens: vetores no MicroStation, AutoCAD, etc..	Mais tipos de imagens: vetores no MicroStation, AutoCAD, etc..
- Técnicas de compressão (S (tipo) / N)	Não	Sim, Deflate, PackBits, CCITT3, CCITT4, RLE, JPEG	Sim, ER MAPPER	Não	Sim, JPEG TIFF e Intergraph	Sim, JPEG TIFF e Intergraph
- Inclui recursos de "Backup" (Y/N)	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
Processamento de Imagem						
- Manipulação de contraste (Y (tipo) / N)	Sim, manual e automática	Sim, automática	Sim, automática com superposição de histograma, correção de ângulo solar	Sim	Sim, Interativa ou Automática	Sim, Interativa ou Automática
- Filtros de convolução (Y / N)	Sim	Não	Sim, imagem <i>sharpening</i>	Não	Sim, 5x5 filtro de convolução (MTFC)	Sim, 5x5 filtro de convolução (MTFC)
- Reamostragem (Y (Vizinho Mais Próximo, Bilinear, Cúbica) / N)	Sim, vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica	Sim, vizinho mais próximo, bilinear e convolução cúbica rápida	Sim, Bilinear, vizinho mais próximo	Não	Sim, todos os modos mais reamostragem epipolar <i>on-the-fly</i>	Sim, todos os modos mais reamostragem epipolar <i>on-the-fly</i>
- Orientação e Aerotriangulação						
- Automática Interior, Relativa	Sim, sim	Não	Importa parâmetros da câmera ou certificado de calibração	Não	Sim	Sim
- Aerotriangulação Automática (Y / N)	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim

- Detecção Automática de "Blunder"	Não	Não	Automática ou interativa remoção dos pontos de enlace sem qualidade	Sim	Sim	Sim
- Auto-calibração	Não	Não		Não	Não	Não
Extração de feições e mapeamento						
- Recursos de Mapeamento (Y/N)	Sim	Sim	Não	Parte exportada para o AutoCad	Sim	Sim
- Extração semi-automática de linhas	Não	Não		Não	Esquadrinhamento ortogonal das edificações	Esquadrinhamento ortogonal das edificações
- Extração de pontos de canto semi- automático	Não	Não		Não	Não	Não
Modelo de Elevação do Terreno (MET) e Ortoimagens						
- Automática extração de "breakline"	Não	Não	Não	Não	Não	Não
- "Matching" automático (Y/N)	Sim	Não	Sim, com DEM interno ou externo	Não	Sim, ImageStation Match-T	Sim, ImageStation Match-T
- Checagem de "facilities" - Edição do MET	Sim	Não	Com excepcional altitudes listadas e removidas	Não	Sim, dinâmica triangulação e contornos, ferramentas de edição de DEM interativa	Sim, dinâmica triangulação e contornos, ferramentas de edição de DEM interativa
- Geração automática de contornos	Não	Sim	Não	Não	Sim	Sim
- Mosaicagem interativa de ortoimagens (Y/N)	Sim	Sim	Sim	Não	Sim, automático com ImageStation	Sim, automático com ImageStation
- Produção de MET (pontos por segundo)	300+	Não aplicável	Sim, com pontos de enlace interativamente mostrados		200, automático	200, automático
Extração de Informação						
- Maior vantagem deste sistema, comparado aos outros sistemas	Fácil de usar, eficiente operação, custo, não necessita de um especial hardware computacional.	Preço. Totalmente configurável. Provém rápido desenvolvimento. Pode mudar o modelo ativo em um voo executando um mapeamento sem remendo.	Adequado para todas as imagens de câmera digital assim como fotos aéreas escanizadas, 100 imagens podem ser processadas em um dia.	Pacote monoscópico de baixo custo sem uso de hardware padrão. Adequado para arquitetos, acidentes de trânsito e testes de batida.	Modelo estéreo contínuo através do display, , sem necessidade de recarregar a imagem, mas digitalizadora precisa para controle manual e ergonômica mobília incluída.	Kit para o seu próprio PC. Modelo estéreo contínuo através do display, sem necessidade de recarregar a imagem, software JPEG adequado para <i>on-the-fly</i>

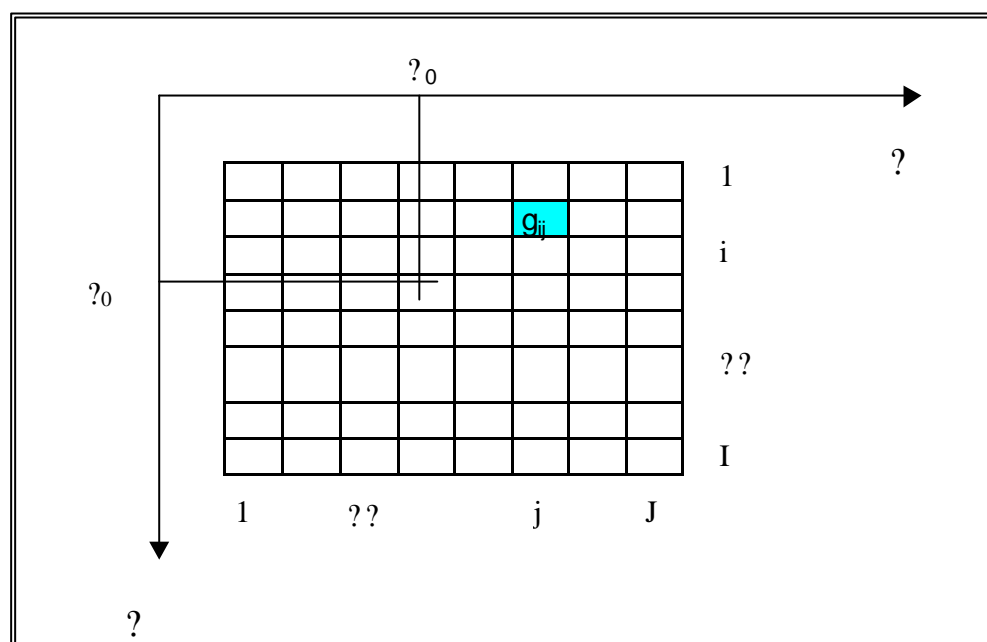


#### 2.1.4.1. Componentes básicos

**Os sistemas de fotogrametria digital tiveram sua tecnologia inicial muito bem concebida, sendo suas principais características (Walker e Petri, 1996):**

- (i) o sistema combina hardware e software permitindo operações fotogramétricas em dados de imagem digitais;**
- (ii) os conjunto de dados de imagens digitais consistem de um “array” de “pixels” de tamanho e forma fixa, tendo cada “pixel” um valor de brilho associado a radiância do objeto imagiado pelo sensor;**
- (iii) o sensor pode produzir dados digitais, por exemplo uma máquina fotográfica digital que incorpora CCDs (Charged Coupled Devices) de área, ou um “scanner” do tipo “pushbroom” com um “array” de CCDs linear;**
- (iv) dados são derivados freqüentemente de uma máquina fotográfica que produz quadros de imagens em filme fotográfico; estes são convertidos na forma digital usando-se “scanners” de alta precisão;**
- (v) o principal elemento do sistema é o DPW (Digital Photogrammetric Workstation), no qual as operações fotogramétricas são realizadas com base em conceitos matemáticos. Posteriormente os dados gerados são informações básicas à execução de mapeamento digital, CAD (Computer Aided Design) ou sistemas de GIS/LIS (Geographic Information System/ Land Information System);**
- (vi) as operações são executadas manualmente ou de forma interativa. Por exemplo, a maioria das feições são extraídas e editadas usando-se métodos automatizados ou semi-automatizados, como MDT (Modelo Digital do Terreno) e ortofotos;**
- (vii) na produção final de um produto cartográfico pode conter linhas vetoriais, arquivos com dados MDT ou imagens de mapas, assim muitos sistemas incluem “plotter raster” ou gravadores de filme.**

## 2.2. DEFINIÇÃO DE IMAGEM FOTOGRAMÉTRICA DIGITAL



**Figura 2.1:** Definição de uma imagem fotogramétrica digital

**Fonte:** Kraus (1992)

Segundo Kraus (1992), uma imagem digital consiste de uma matriz  $G$  bidimensional com elementos  $g_{ij}$ . Cada elemento da matriz é chamado de “pixel” – “picture element”. O índice da linha  $i$  varia de 1 a  $I$  nos passos de 1, isto é  $i = 1(1)I$ . O índice correspondente para a coluna é  $j = 1(1)J$ . A matriz dos elementos representa-os em área tendo dimensões de **deltaE** (??) e **deltaN** (??).

Os “pixeis”  $g_{ij}$  carregam consigo algumas informações. O valor do “pixel” depende do tipo de instrumento gravado e do computador em uso. O intervalo entre os valores dos “pixeis” são de 0 a 255, este é um intervalo no qual excede a capacidade de diferenciação do olho humano. A informação contida nos 256 diferentes valores podem ser armazenadas em oito bits (2 elevado a oitava bit combinações) e um grupo de oito bits é considerado como uma única unidade, op. cit. .

O mesmo autor afirma ainda que, numa imagem preto e branco, os valores dos “pixeis” são representados considerando as variações dos tons de cinza (usualmente 0 preto e 255 branco). A mesma acurácia determinada em fotogrametria analítica pode ser alcançada ou mesmo excedida em fotogrametria digital, entretanto o tamanho do “píxel” no plano de medida da câmara deve ser tão pequeno quanto o micrômetro.

Kraus (1992) afirma que a ortofoto digital é o objeto de maior interesse no processo de execução da fotogrametria digital, a qual pode ser produzida com pixel de acuracidade significativa para produtos em grande escala. Se o tempo entre se fazer uma imagem e a criação do produto final for extremamente curto, a técnica da fotogrametria digital é essencial. É chamada de fotogrametria, em tempo real, aquela que dispõe de um grande número de “pixeis”, grande volume de dados e intenso processamento, de dados.

### 2.2.1. DIGITALIZAÇÃO DE FOTOGRAFIAS

Para Kraus (1992), a tarefa de digitalização requer alta acurácia e a operação em tempo real não tem tanta importância, então a fotogrametria digital pode começar com o processo de fotografias “fotogramétricas”. O processo de digitalização segue o desenvolvimento do filme.

**Para ter certeza de que nenhuma informação na fotografia é perdida, o intervalo de digitalização deve ser adaptado para a resolução da fotografia. A resolução “R” é expressa em pares de linhas por milímetro [pl/mm ou l/mm], assim sendo através da teoria do “scanning” o intervalo de digitalização é:**

$$\Delta D[\text{mm}] < 1/(2 \cdot R)$$

Entretanto na prática usa-se 0.7, assim:

$$\Delta D[\text{mm}] < 0.7/(2 \cdot R)$$

**Como exemplo: Mesmo tendo um baixo contraste pode-se considerar a resolução nas fotografias de 50pl/mm. O intervalo de digitalização correspondente para cada fotografia é então:  $\Delta D[\text{mm}] < 0.7/(2 \cdot 50) = 0.007\text{mm} = 7 \text{ micrômetros}$ .**



O intervalo de digitalização não deve ser confundido com o tamanho do elemento do sensor. Para um processo ideal deve ser considerado o intervalo de digitalização do mesmo tamanho que o elemento do sensor. Somente dessa forma, encontra-se as ideais condições de “scanning” . Se em alguma digitalização o intervalo for menor que o tamanho do elemento do sensor, ocorrerá uma superposição de “pixeis” com uma certa deformação da informação original proveniente da foto.

Kraus (1992) comenta que os “pixeis” com tamanho menor que 7  $\mu$ m, podem ser armazenados hoje com um esforço aceitável, pois deve considerar-se o tamanho do arquivo e o tempo de processamento de uma imagem. No processo de digitalização o tamanho do “pixel” diminui de acordo com o “signal-to-noise ratio”, o qual é uma medida de qualidade do sensor, assim também diminui o limite de 1. O “signal-to-noise ratio” significa que o ruído é maior que a relevante informação ou sinal proveniente da imagem.

A alta resolução e o exato posicionamento necessário para se obter a acurácia fotogramétrica é obtido somente em poucos “Photo-scanners”. Três diferentes desenhos principais na organização dos detectores ou dos sensores sensíveis a luz são usados:

- a) sensor único, o qual digitaliza em linhas – usualmente por rotação – através da fotografia, conhecido pelos fabricantes como: Crossfield, Hell, Optronics, Scitex;
- b) sensor linha, o qual escaneia em faixas sobre a foto. O Photoscan PS1, desenvolvido pela Zeiss e a Intergraph adota este princípio. A linha dos sensores contém 2048 sensores individuais e o tamanho do pixel é de 7.5micras. O grau de acurácia é definido como sendo 1 micra;
- c) sensor matriz quadrada, o qual digitaliza pedaços de fotos por tempo. Estas imagens parciais são conectadas numericamente para completar a fotografia pela malha de “réseau” na qual as coordenadas são conhecidas.

Segundo Grün (1996), a primeira estação fotogramétrica estéreo digital comercial completa foi apresentada por Kern & Co., com o nome de DSP1. Isso aconteceu no 16º Congresso da Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto na cidade de Kyoto – Japão em 1988.

A fotogrametria digital a curta distância encontra-se em um estágio de quase completa automação. Esta tecnologia já se aplica a vários campos, como a metrologia industrial, biomecânica, animação, entre outros. Por outro lado, a fotogrametria digital aplicada na execução de mapas, ainda tem muito para evoluir e atingir a plena automação, Mikhail (1992).

**Segundo Mayr (1993), atualmente não existe uma clara e compreensiva definição para o termo “fotogrametria digital”.**

## **2.2.2. REFLEXÕES SOBRE O USO DA FOTOGRAMETRIA DIGITAL**

**A fotogrametria digital é um novo segmento da fotogrametria que avança fortemente pelo mercado fotogramétrico. O impulso maior foi observado em relação a sua aplicação voltada para a fotogrametria a curta distância.**

**Por mais de 20 anos os restituidores analógicos têm sido substituídos pelos sistemas analíticos, este processo de mudança tem levantado uma série de questionamentos sobre os benefícios, os quais podem ser respondidos em parte por Walker (1995):**

- ?? Os sistemas analíticos estão bem desenvolvidos e provam na execução dos trabalhos um bom desempenho;
- ?? No presente, trabalha-se com vários sistemas analíticos, e o processo de troca analógico para analítico não é oneroso.

Tomando a mesma linha de raciocínio, deve ser feita uma reflexão em relação aos sistemas digitais. Os argumentos principais para a mudança segundo Walker (1995), Vogelsang (1997) e Tsingas (1994) são:

- ?? O PhotoScan PS1 permite digitalizar uma fotografia aérea analógica e transformá-la em imagem digital de forma simples e sem muito trabalho. Entretanto, acredita-se que a aquisição direta de imagens digitais não sucumbirá o método de aquisição convencional de fotos aéreas, por mais alguns anos. O hardware do PhotoScan PS1 trabalhará por um longo tempo com acuracidade e fidedignidade;
- ?? Tanto agora como no passado, o desenvolvimento de novos e melhores computadores acontece rapidamente facilitando e agilizando o trabalho computacional relacionado ao processamento de imagens. Necessita-se de maior poder computacional para uso dos

sistemas analíticos, assim como para os sistemas digitais. Para ambos os sistemas, os computadores devem eventualmente ser atualizados após alguns anos de uso;

?? Se os “softwares” não estão completamente desenvolvidos, eles podem ser atualizados por novos programas.

Para o caso de restituidores analíticos, o nível tecnológico no qual estão inseridos remonta pela sua aplicação e tempo de uso no mercado. Assim, para o estabelecimento de um sistema digital necessita-se de um desenvolvimento em alto grau e uma segurança dos usuários em relação ao custo-benefício e aceitação dos consumidores de cartografia, como:

?? O hardware do PhotoScan PS1 trabalhará fidedignamente por muitos anos (simplesmente como o hardware de um restituidor analítico o faz);

?? Se o software será desenvolvido realmente em um alto nível, então pode-se esperar que a instalação seja fácil;

?? A implementação de um software tornando-o poderoso, ou seja, altamente recursivo na aplicação das atividades voltadas ao trabalho de restituição, necessita de um hardware também poderoso; dessa forma pode-se afirmar que em um futuro próximo, a acessibilidade a bons computadores com menor custo é real.

Para Heipke (1993), as tarefas que devem ser realizadas no processamento estéreo analítico são:

?? seleção dos pontos de controle terrestre (GCP – Ground Control Points) na área a ser mapeada, devem ser visíveis na imagem e geometricamente bem distribuídos;

?? medição nas fotos para determinar as coordenadas das marcas fiduciais de forma a estabelecer a relação de coordenadas entre foto e imagem, permitindo calcular os parâmetros de relacionamento (geralmente chamada de orientação interior, embora os parâmetros da orientação interior não sejam calculados nesta etapa);

?? escolha e medida das coordenadas dos pontos de ligação da imagem, os quais devem estar geometricamente bem distribuídos, e cálculo dos parâmetros da orientação relativa;

?? identificação e medida dos pontos de controle terrestre da imagem e cálculo dos parâmetros da orientação absoluta;

?? aquisição dos dados e geração do modelo digital do terreno (MDT);

?? ortoprojeção;

?? aquisição dos dados vetoriais.

Em muitas aplicações a área a ser mapeada estende-se além da área coberta por duas imagens, assim a aerotriangulação surge com algumas tarefas, tais como:

- ?? seleção de imagens a ser usada, proveniente de um determinado voo ;
- ?? transferência e marcação dos pontos de controle e pontos de amarração em diferentes imagens;
- ?? cálculo do ajustamento por feixes de raios para determinação dos parâmetros de orientação exterior.

No mundo estéreo digital existe um número de vantagens técnicas relevantes sobre o processamento analítico (Grün 1989; Dowman 1990, Dowman et al, 1992; Helava 1991b; Leberl 1992). Além disso, substanciais subtarefas podem ser executadas através de uma rotina bem definida, na qual permita o processo de automação.

Para Kraus (1992) e Ackermann (1991) algumas tarefas no processo de automatização são fundamentais; desse modo segue uma lista das etapas que precedem o processamento digital:

- ?? digitalização das imagens, caso estejam disponíveis somente de forma analógica (isto é, continuará a ser o caso da imagem aérea);
- ?? calibração radiométrica inclui a eliminação de possíveis erros do sensor (nesta etapa é necessária a aquisição direta de imagens no formato digital único, por outro lado a calibração radiométrica pode ser combinada com a digitalização;
- ?? compressão de imagem (e descompressão a um processamento a priori) de forma a reduzir a enorme quantidade de dados. No entanto, cuidados devem ser tomados para minimizar os erros radiométricos e geométricos.

Dessa forma, o principal diferencial com a chegada da “fotogrametria digital” encontra-se no aspecto qualitativo, ou seja na sua potencialidade, uma vez que a possibilidade de automatização nas etapas fotogramétricas torna-se o sonho perseguido pelos fotogrametristas.

#### **A) DIGITALIZAÇÃO DE IMAGENS USANDO PHODIS SC/SCAI – NOME NOVO DEPOIS DA JOINT VENTURE**

Segundo Vogelsang (1997), a fotogrametria digital vem tornando-se parte do processo atual do trabalho fotogramétrico. O principal fator neste contexto é o fluxo de trabalho e o manejo dos instrumentos. A produtividade e a eficiência dos “scanners” de fotogrametria tem se propagado significativamente durante os últimos anos. O critério decisivo vem sendo o tempo de digitalização mais curto e o alto grau de automação do processo. Outro aspecto importante na fotogrametria digital é a maleabilidade na coleta dos dados utilizando-se outros módulos ou mesmo outros softwares. Assim, é essencial que um sistema digital permita uma rápida e fácil familiarização ao usuário. A empresa Z/I – Zeiss/Intergraph como fabricante e vendedora de hardware e software, produz um sistema fotogramétrico digital completo oferecendo o “ImageStation” aos seus usuários, ou seja, um completo sistema fotogramétrico de processamento digital de imagem.

Vogelsang (1997), Miller et al, (1992) e Raad e Scarpate (1995), comenta que o sistema PHODIS caracteriza-se por obrigar o usuário a realizar uma configuração inicial de um projeto, o qual segue padrões de um projeto estrutural típico, e que posteriormente é usado por todos os outros módulos no processamento dos dados. Assim, primeiramente é executada a estrutura do diretório, que é definido através das palavras-chaves indicando os diferentes diretórios. Um diretório-caminho é nomeado por cada palavra-chave. Estes diretórios-caminhos devem incluir palavras-chaves previamente definidas por ocorrência. Como resultado, os dados atuais podem ser arquivados em diferentes discos rígidos e em diferentes computadores e podem ser combinados em um novo projeto usando o arquivo de projeto. O arquivo de projeto usado no Phodis SC é então processado pelos outros módulos.

Dessa forma, após a montagem do projeto em qualquer módulo do sistema pode ser depositado o arquivo contendo os parâmetros. Portanto o mesmo autor aconselha, no Phodis SC, criar vários arquivos de parâmetros diferentes para executar tarefas típicas, como por exemplo: arquivos que contenham dados para digitalizar diapositivos preto-e-branco, negativo-e-positivo, coloridos e infra-vermelho. Arquivos de parâmetros semelhantes podem ser usados como modelo e podem ser adaptados como requisitos para aplicações específicas.

Uma imagem digitalizada não pode ser considerada isolada, mas deve ser vista como parte de um conjunto de dados fotogramétricos. Esta informação consiste na câmera fotogramétrica com os seus respectivos dados de calibração, parâmetros da orientação interior, número da foto e

dados, como a data e o local da missão, o número do rolo de filme, a companhia de vôo da missão, entre outros.

O módulo do Phodis SC automaticamente transfere os dados acima citados da imagem para o arquivo durante o processo de digitalização, assim assegura a utilização correta destas informações para todos os outros módulos do Phodis imediatamente após a realização desta tarefa, Vogelsang (1997). Se, por exemplo, a aerotriangulação for executada subseqüentemente através do módulo Phodis AT, os números das fotos já estão relacionados às imagens de forma direta, não havendo trabalho de edição manual e conseqüentemente minimizando a probabilidade de erros grosseiros.

No processo de digitalização utilizando o módulo Phodis SC, os seguintes arquivos são criados:

- ?? **arquivo de imagem (\*.tiff, \*.tld)**, arquivo binário contendo os dados de imagem;
- ?? **arquivo de informação digitalizada (\*.sin)**, ASC II arquivo contendo os parâmetros de digitalização;
- ?? **arquivo de informação da imagem (\*.di)**, arquivo binário contendo a orientação dos dados, o número lógico da foto e outro parâmetro da imagem.

#### **b) Digitalização de Fotos Individuais:**

A digitalização de fotos individuais envolve os seguintes procedimentos:

- a) entrada dos parâmetros de digitalização;
- b) entrada dos arquivos contendo os parâmetros;
- c) definição das funções fotogramétricas;
- d) "Prescan"
- e) "Scan".

##### **b.1) Entrada dos Parâmetros na Digitalização**

Mehlo (1995) comenta quais são as configurações necessárias antes da realização de uma digitalização: tamanho do pixel (7?m, 14?m, 21?m, 28?m, 112?m, e 224?m), tamanho da área a ser digitalizada e sua posição na lâmina que segura a foto. A posição da área digitalizada

pode ser definida também numericamente ou interativamente usando o “mouse”. Um “Prescan” é considerado como pré-requisito para uma definição interativa precisa da área a ser digitalizada.

Um parâmetro necessário a digitalização é a escolha da cor, isto é, deve-se especificar previamente se a foto será digitalizada em preto e branco ou colorido. Para a digitalizar uma imagem preto e branco considerando-se a matiz de uma imagem colorida, a escala de cor, é admitida automaticamente, dessa forma o tamanho da imagem em bytes é imediatamente exibido.

No “menu” de configuração prévia de uma digitalização, ainda devem ser definidos os parâmetros para exposição, contraste, conversão positivo-negativo e escala de cores. O operador tem a possibilidade de usar as configurações de “defaults” ou de selecionar ou definir as funções de imagem contendo “look-up-table”. A próxima entrada de dados deve ser a posição da imagem, esta função define “on line” a execução de rotação e/ou espelhando da imagem no arquivo de imagem. Este é um processo requerido por alguns programas de aerotriangulação digital.

## **b.2) Entrada dos Arquivos de Parâmetros**

Segundo Vogelsang (1997), este procedimento envolve a nomeação de um arquivo a ser digitalizado e a definição do formato do arquivo de imagem como TIFF ou TLD, o número da foto pode ser transferido à imagem neste estágio. O número é armazenado num arquivo de parâmetro de imagem e é subsequente usado, por exemplo, no Phodis AT.

## **b.3) Definição das Funções Fotogramétricas**

Esta operação indica, por exemplo, a câmera usada para a fotografia. Também permite a especificação do arquivo pirâmide associado a cada imagem depois da digitalização, e que deverá ser realizada a orientação interior automática.

## **b.4) Pré-digitalização (Prescan)**

O Prescan permite checar a seleção dos parâmetros de digitalização, a posição da foto no SCAI, assim como o brilho e o contraste. Se qualquer um dos parâmetros de digitalização precisar ser modificado o SCAN SETUP pode ser diretamente acionado. Além disso, possibilita chamar um histograma para configurar a digitalização. O PRESCAN é executado com uma resolução de 224  $\mu$ m e leva cerca de 1,5 minuto para um diapositivo de 230 x 230mm. A área de digitalização pode ser variada interativamente usando o “mouse”.

### **b.5) Digitalização (SCAN)**

Segundo Roth (1996), os parâmetros digitais são divididos em dois grupos:

- ?? parâmetros digitais geométricos e radiométricos;
- ?? Definição de grupo: formato e nome.

Os parâmetros geométricos e radiométricos digitais são combinados em um menu. Os mais importantes deles são:

- ?? resolução “pixel” de 7 a 224 microns;
- ?? Definição da área de digitalização (tomando por base a definição do pré-digitalização);
- ?? Digitalização colorida ou monocromática;
- ?? Digitalização em um diapositivo ou negativo;
- ?? Definição radiométrica: transmissão, densidade ou uso da “Lookup table” (LUT);
- ?? Correção de cores;
- ?? Tempo de exposição;
- ?? Negação “on-line” da imagem radiométrica.

Após a configuração de todos os parâmetros no Phodis SC, o digitalizador está pronto para iniciar o seu trabalho. Uma janela é aberta no monitor exibindo novamente os principais elementos da configuração para checagem e eventual correção. A exibição também mostra a duração estimada da digitalização, dependendo dos parâmetros envolvidos. Por exemplo para um diapositivo de 230 x 230mm demora 9 minutos e 30 Segundos com resolução de 14 $\mu$ m. O tempo de operação/execução do “scanner” não depende apenas do tempo selecionado, mas também do “SPEEDTABLE”. Torna-se desnecessário comentar que um fator de decisão é a



performance da plataforma do computador usado, o que significa que diferentes “SPEEDTABLES” são avaliados por diferentes plataformas dos computadores, Vogelsang (1997).

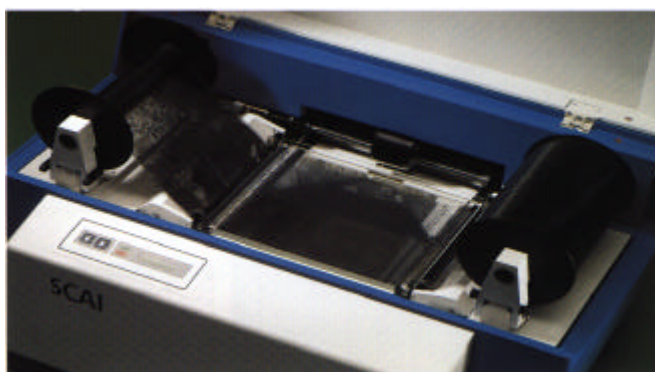
A unidade de “scanner” SCAI compreende um sistema de medição de alta precisão com um poderoso sensor de linha CCD para digitalização monocromática e colorida, uma unidade de controle para controlar os ciclos de digitalização, um processador para os dados CCD, e um auto rebobinador para a automática digitalização de filmes completos sem cortes. A transferência de dados para o computador ocorre por meio da base SCSI-2. O programa SC inclui todas as funções requeridas para controle de scanner, transferência e organização para os dados em imagem, funções básicas de fotogrametria e funções de manipulação de imagens. O programa AutoWinder (AW), permite o controle de autoposicionamento do filme e a operação direta via computador, Roth (1996).

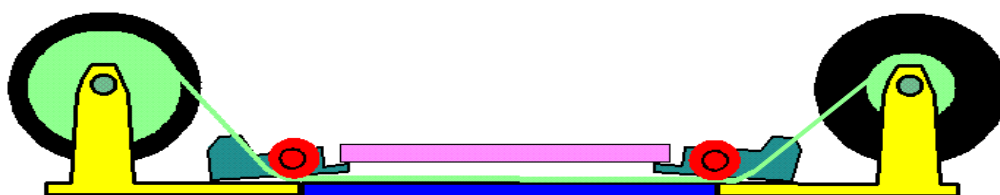
O transporte do filme e o reconhecimento dos ângulos da estrutura são completamente automáticos. O requisito básico para a digitalização do rolo de filme é o arquivo de filme criado para cada rolo deste e contém todas as montagens definidas para as fotos individuais. O SCAI usa o arquivo de filme como um arquivo de controle para o processamento seqüencial. O processamento de um arquivo de filme pode ser interrompido a qualquer hora e terminado mais tarde, enquanto o SCAI permanece ativamente conectado com o computador de controle. A digitalização do rolo de filme requer os seguintes procedimentos:

- ?? todos os procedimento envolvidos em uma única digitalização, exceto o “Prescan” e o “Scan”;
- ?? criação do arquivo de filme;
- ?? edição e execução do arquivo de filme.

A criação do arquivo de filme dispensa comentários detalhados sobre onde ocorreu o vôo, em qual projeto está inserido, entre outros. O número das fotos incluídas no filme são digitalizados e somados aos arquivos previamente mencionados. Um arquivo com características gerais pode ser criado contendo uma amostra de todas as imagens digitalizadas individualmente. O arquivo contendo os dados gerais pode ser posto junto com o arquivo de filme, além disso a resolução da digitalização pode ser especificada neste momento.

A área a ser digitalizada e a posição da borda esquerda que contém os dados é enquadrada na lâmina que segura a foto, dessa forma há um automático reconhecimento das bordas do quadro. O “AUTOWINDER” sempre avança o filme por uma distância definida pela estrutura. Caso os intervalos das estruturas não sejam idênticos, pode acontecer que a borda do quadro à esquerda não pare precisamente na posição pré definida. Para que isso não ocorra a área da digitalização é ajustada considerando um fator de tolerância. Assim, se o posicionamento exceder exatamente esta tolerância, o “AUTOWINDER” corrige automaticamente a posição. Quando o menu é finalizado o arquivo de filme é criado.





**Figura 2.2:** Representação esquemática do *autowinder*  
**Fonte:** Mehlo (1995)

Após o início da execução do arquivo de filme, o rolo é digitalizado quadro a quadro. Por meio da aplicação desta metodologia, um rolo de filme inteiro pode ser processado numa operação noturna, incluindo dados da orientação interior, estando disponível na manhã seguinte para dar continuidade aos trabalhos. Deve ser enfatizado que a configuração para a digitalização não leva para o operário mais que uma ou duas horas, assim prepara-se um arquivo completo de imagem de um rolo de filme, que requer algumas horas escaneamento, em pouco tempo.

## 2.3 - DESCRIÇÃO DETALHADA DOS PRODUTOS IMAGESTATION

### 2.3.1 - IMAGESTATION PHOTOGRAMMETRIC MANAGER (ISPM)

Gerenciador de projetos de restituição. Permite a entrada de dados de vôo, de câmera e de terreno para a geração dos modelos fotogramétricos.

Principais características:

- ?? Definição do fluxo de trabalho para a restituição;
- ?? Definição de parâmetros da câmera;
- ?? Criação de novas câmeras;
- ?? Definição da faixa e nomenclatura automática das fotos;
- ?? Entrada ou Importação dos pontos de controle de terreno em ASCII;
- ?? Conversão de formatos para outros produtos (Pacotes de aerotriangulação);
- ?? Entrada de dados para ortorectificação.

### **2.3.2 - IMAGESTATION DIGITAL MENSURATION (ISDM)**

Permite a leitura e transferência de pontos através de fotos aéreas para o cálculo da Orientação Exterior.

Principais características:

- ?? Orientação Interior;
- ?? Orientação relativa;
- ?? Orientação absoluta;
- ?? Foto Resection;
- ?? Geração do modelo estereoscópico;
- ?? Leitura e medição de pontos (Grüner, Controle e Passagem);
- ?? Exportação e importação para produtos de terceiros como Path-M, Path-B, Blur, Bingo etc.

### **2.3.3 - IMAGESTATION STEREO DISPLAY (ISSD)**

Ambiente de trabalho para visualização estereográfica e restituição digital.

Principais características:

- ?? Interpolação Epipolar;
- ?? Visualização e manipulação do modelo estereográfico;
- ?? Sobreposição tridimensional do modelo com a base vetorial;
- ?? Visualização simultânea da base restituída de forma estereográfica;
- ?? Interpolação para controle de paralaxe on-line;
- ?? Visualização de imagens em modo estéreo, mono ou vetor em até 8 janelas diferentes simultaneamente.

### **2.3.4 - IMAGESTATION FEATURE COLLECTION (ISFC)**

Automatização do processo de restituição através da definição prévia das feições que serão restituídas.

Principais características:

- ?? Definição de feições gráficas;

- ?? Características especiais para Curvas de Nível e Hidrografia;
- ?? Comandos múltiplos para uma mesma feição (Linha, curva, arco e células);
- ?? Células proporcionais;
- ?? Pontos cotados de altimetria proporcional a marca flutuante.

### **2.3.5 - ImageStation DTM Collection (ISDC)**

Método interativo para compilação de Modelos Tridimensionais para geração de ortofotos ou mesmo projetos de engenharia.

Principais características:

- ?? Coleta interativa de pontos altimétricos;
- ?? Alteração de modelos existentes através do modelo estereoscópico;
- ?? Inserção ou remoção interativa de vértices do modelo;
- ?? Alteração da superfície on-line;
- ?? Criação de falhas, *breaklines* e pontos de máxima e mínima para melhorar modelos existentes.

## **2.4 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE GEOESTATÍSTICA**

### **2.4.1 – Histórico**

Segundo Guerra e Salles (1988) e (Krige, 1951), o nome de “Geoestatística” nasceu para se referir à aplicação da Teoria das Variáveis Regionalizadas na resolução de problemas de Geologia e Mineração. Ela foi concebida e idealizada por George Matheron (entre 1957 a 1962) e constitui um critério científico e moderno de interpretação e estudo da maior parte dos fenômenos naturais.

Desta forma, a teoria das variáveis regionalizadas, é também aplicada em outras áreas, fora do âmbito mineiro tais como:

- ?? Na área florestal (notadamente Betil Marten, quem desenvolveu a teoria paralelamente com G. Matheron, porém lamentavelmente suas obras realizadas ao final dos anos 50, somente foram conhecidas depois que a Geoestatística já estava concebida);

?? Na meteorologia (Delfiner e Delhomme (1975));

?? Mapas de contorno;

?? Calibração de “Well-logs” na área nuclear.

Levando em consideração que os fenômenos naturais não podem ser tratados como fenômenos aleatórios, surgiu a necessidade de se encontrar novas ferramentas matemáticas que permitam estudar de um modo sintético as suas características essenciais das variáveis regionalizadas, quais sejam, aspecto aleatório e aspecto espacial, Matheron (1963, 1971).

Deste modo a Geoestatística se propõe estudar os dois objetivos principais:

- a) tentar ser capaz de extrair da aparente desordem dos dados disponíveis, uma imagem da variabilidade dos mesmos, e uma medida da correlação existente entre os valores tomados em 2 pontos do espaço. Este é o objetivo da análise estrutural e se consegue através do variograma.
- b) Deve ser também capaz de medir a precisão de toda predição ou estimativa feita através de dados fragmentados, ou seja, há necessidade de uma teoria de estimativa de reservas. Isto é feito através de um interpolador geoestatístico chamado de krigagem.

Para Diggle e Ribeiro Jr. (2000), os objetivos das análises estatísticas são principalmente de dois tipos: estimação e predição. Estimação refere-se a inferência sobre os parâmetros do modelo estocástico para os dados. Isto pode incluir interesse científico direto, por exemplo aqueles que definem a relação de regressão entre uma variável resposta e uma exploratória, e parâmetros de interesse indireto, por exemplo aqueles que definem a estrutura de covariância de um modelo para um superfície qualquer  $S(x)$ . Predição refere-se a inferência sobre a realização de um sinal não observado  $S(x)$ . Em aplicações, objetivos de predição específica devem incluir predição de um valor percebido  $S(x)$  em um local arbitrário “ $x$ ” estando em uma região de interesse,  $A$ , acarretando em um mapa de superfície  $S(X)$ , ou predizendo algumas propriedades de completa realização do  $S(x)$  para todo “ $x$ ” em  $A$ , no qual tem uma relevância particular para o problema. Por exemplo, na aplicação de minas para qual método geoestatístico foi originalmente desenvolvido, o valor médio de  $S(x)$  sobre uma área na qual pode ser potencialmente minerada com interesse econômico direto. Para uma perspectiva de inferência clássica, a distinção básica entre estimação de parâmetros e predição é que os

parâmetros são fixos mas de quantidade desconhecida, enquanto  $S(x)$  e suas propriedades são valores percebidos de variáveis randômicas.

Segundo o centro de geoestatística de Fontainebleau na França <http://cg.ensmp.fr/HomePageEnglish.html>, o objetivo da geoestatística é o estudo de qualquer fenômeno no qual pode ser quantificado e desenvolvido, considerando uma estrutura no espaço (e/ou no tempo). Geoestatística é principalmente baseada na teoria da probabilidade dos processos estocásticos. Assim, demanda os seguintes objetivos:

- ?? Análise estrutural e interpretação dos fenômenos estudados;
- ?? Cartografia;
- ?? Avaliação e previsão e;
- ?? Simulação usando modelos numéricos.

Geoestatística pode assim ser apresentada como uma extensão da estatística ou dos métodos de análise de dados, entretanto tendo como base a organização espacial das variáveis em estudo. Pode também ser considerado como uma extensão do método de análise de Fourier, no qual trata-se variáveis multidimensionais de amostragem irregular.

O mesmo centro francês de estudos em geoestatística, considera-a como sendo uma ciência fundamental, não havendo limite nos diversos campos de aplicação: indústria de mineralogia (onde foi originada), petróleo, meio ambiente, meteorologia, geofísica, agricultura e pesca, oceanografia, ciência do solo e mais recentemente em engenharia civil e finanças e porque não astrofísica num futuro próximo?

Camargo (2001), também afirma que a geoestatística envolve análise e inferência de fenômeno espacial e ou temporal, tal como concentração de poluentes, variação do teor de zinco no solo, preço do petróleo no tempo, etc. Atualmente, geoestatística é justamente um nome associado com uma classe de técnicas usada para analisar e inferir valores de uma variável distribuída no espaço e/ou no tempo.

Depois de determinar a estrutura da dependência espacial dos dados, realiza-se suas inferências em localizações não amostradas através da “Krigagem” ou podem ser *Simuladas* usando simulações condicionais. Resumidamente, os passos num estudo empregando técnicas geoestatísticas inclui: (a) análise exploratória dos dados, (b) análise estrutural (cálculo e modelagem do variograma) e (c) realização de inferências (Krigagem ou Simulação).

Segundo Burrough (1987), a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser expressa pela soma de três componentes: a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e c) um ruído aleatório ou erro Residual.

Se  $\mathbf{x}$  representa uma posição em uma, duas ou três dimensões, então o valor da variável  $Z$ , em  $\mathbf{x}$ , é dada por (Burrough, 1987):

$$Z(\mathbf{x}) = m(\mathbf{x}) + \epsilon'(\mathbf{x}) + \epsilon'' \quad (1)$$

onde:

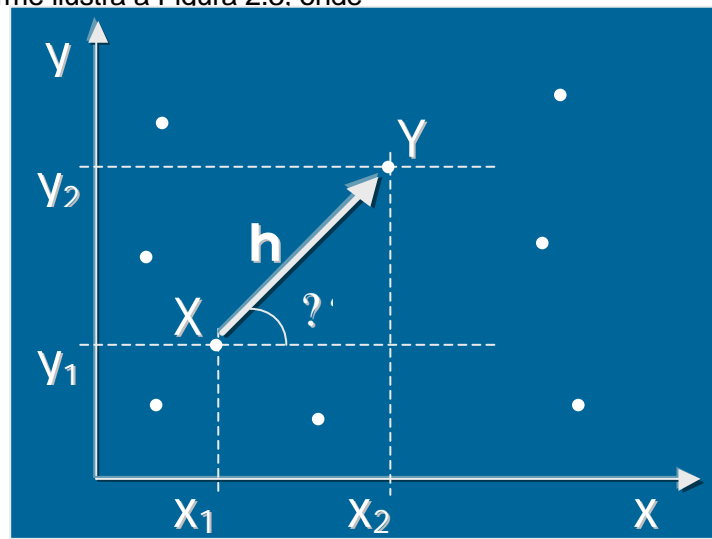
??  $m(\mathbf{x})$  é uma função determinística que descreve a componente estrutural de  $Z$  em  $\mathbf{x}$ ;

??  $\epsilon'(\mathbf{x})$  é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de  $m(\mathbf{x})$ ;

??  $\epsilon''$  é um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância  $\sigma^2$ .

#### 2.4.2 – Variograma

O variograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (Huijbregts, 1975). Considere duas variáveis regionalizadas,  $X$  e  $Y$ , onde  $X = Z(\mathbf{x})$  e  $Y = Z(\mathbf{x}+\mathbf{h})$ . Neste caso, referem-se ao mesmo atributo (por exemplo, o teor de zinco no solo) medido em duas posições diferentes, conforme ilustra a Figura 2.3. onde



**Figura 2.3** – Amostragem em duas dimensões.

Fonte: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/aulas.html>



$\mathbf{x}$  denota uma posição em duas dimensões, com componentes  $(x_i, y_i)$ , e  $\mathbf{h}$  um vetor distância (módulo e direção) que separa os pontos.

O nível de dependência entre essas duas variáveis regionalizadas,  $X$  e  $Y$ , é representado pelo variograma,  $2\gamma(h)$ , o qual é definido como a esperança matemática do quadrado da diferença entre os valores de pontos no espaço, separados pelo vetor distância  $h$ , isto é,

$$2\gamma(h) = E\{[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})]^2\} = \text{Var}[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})] \quad (2)$$

onde  $E\{\cdot\}$  é a esperança matemática;

$\text{Var}\{\cdot\}$  é a variância.

Através de uma amostra  $z(x_i)$ ,  $i=1, 2, \dots, n$ , o variograma definido em (2) pode ser estimado segundo Matheron (1963) por:

$$2\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

onde:

$2\hat{\gamma}(h)$  - é o variograma estimado;

$N(h)$  - é o número de pares de valores medidos,  $z(x_i)$  e  $z(x_i + h)$ , separados por um vetor distância  $h$ ;

$z(x_i)$  e  $z(x_i + h)$  - são valores da  $i$ -ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos  $x_i$  e  $x_i + \mathbf{h}$  ( $i = 1, \dots, n$ ), separados pelo vetor  $h$ .

Muitos autores definem variograma de forma distinta da Equação (3), considerando o que comumente se refere como semivariograma, dado por:

?

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})]^2\} = \frac{1}{2} \text{Var}[Z(\mathbf{x}) - Z(\mathbf{x} + \mathbf{h})] \quad ? \quad ? \quad ? \quad ???$$

?

?

Analogamente, a função semivariograma pode ser estimada por:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

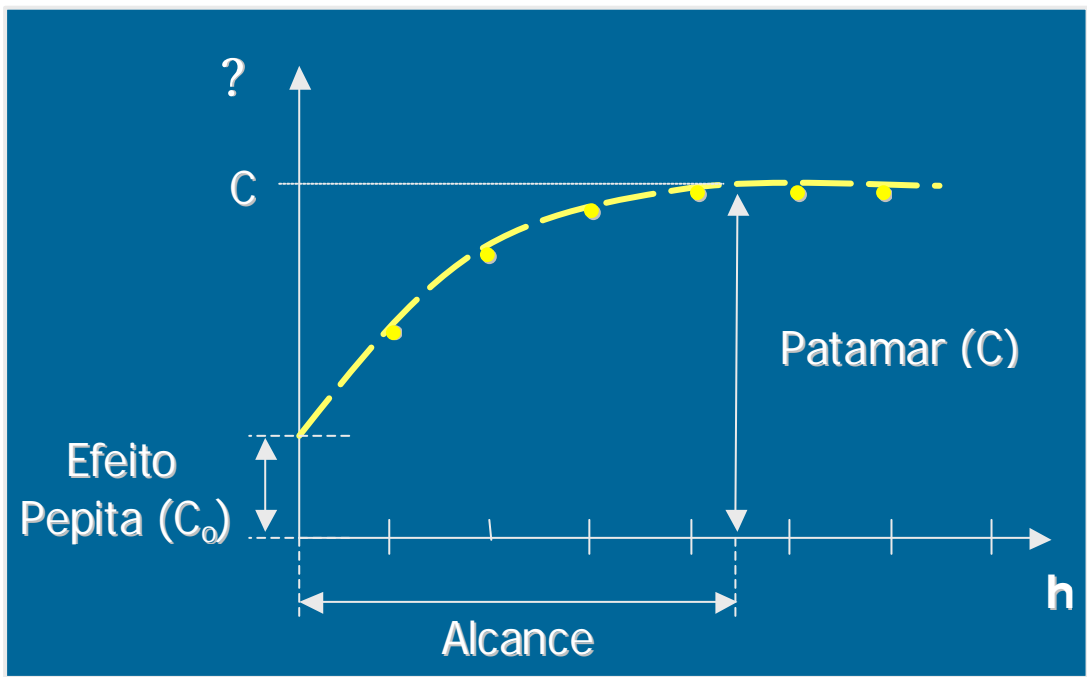
onde  $N(h)$ ,  $Z(x_i)$  e  $Z(x_i+h)$  são conforme já definidos.

De acordo com Cressie e Hawkins (1980), o estimador robusto de Matheron é:

$$\gamma_h = \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^{N(h)} \sqrt{|Z(x_i + h) - Z(x_i)|}}{0,457 \cdot \frac{0,494}{N(h)}} \quad (6)$$

#### 2.4.2.1 – Parâmetros do Semivariograma

A figura 2.4 ilustra um semivariograma experimental com características muito próximas do ideal. O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças  $\{Z(x_i) - Z(x_i+h)\}$  decresçam à medida que  $h$ , a distância que os separa decresce. É esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias. Desta maneira, é esperado que  $\gamma(h)$  aumente com a distância  $h$ .



**Figura 2.4** – Exemplo de Semivariograma Experimental.  
**Fonte:** <http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/aulas.html>

Os parâmetros do semivariograma podem ser observados diretamente da Figura 2.4 :

- ?? Alcance ( $\rho$ ): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente.
- ?? Patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance ( $\rho$ ). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ( $\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$ ) torna-se invariante com a distância.
- ?? Efeito Pepita ( $C_0$ ): idealmente,  $\rho(0)=0$ . Entretanto, na prática, à medida que  $h$  tende para 0 (zero),  $\rho(h)$  se aproxima de um valor positivo chamado Efeito Pepita ( $C_0$ ), que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (Isaaks e Srivastava, 1989), mas é impossível quantificar se a maior contribuição provém dos erros de medição ou da variabilidade de pequena escala não captada pela amostragem.
- ?? Contribuição ( $C_1$ ): é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita ( $C_0$ ).

Os modelos matemáticos, tais como: esféricos, exponencial, gaussiano, potência e aninhados, os quais se ajustam as curvas dos semivariogramas apresentam-se melhor detalhados em Camargo (2001). No livro escrito pelo mesmo autor maiores detalhes podem ser encontrados sobre os modelos teóricos, anisotropia e krigagem, entretanto uma breve abordagem será realizada a seguir.

### 2.4.3 – Modelos Teóricos

O gráfico do semivariograma experimental  $\rho(h)$ , calculado através de a semivariâncias estimadas de Matheron, é formado por uma série de valores, conforme ilustra a Figura 2.4, sobre o qual se objetiva ajustar uma função. É importante destacar que o modelo ajustado represente a tendência da função semivariância  $\rho(h)$  em relação a distância  $h$ . Deste modo, as

estimativas em dados não amostrados obtidas a partir da krigagem serão mais exatas e, portanto mais confiáveis. O procedimento de ajuste não é direto e automático, dependendo do ajuste obtido, pode ou não redefinir o modelo, até obter um que seja considerado satisfatório. Segundo McBratney e Webster (1986), o ajuste de um modelo teórico requer um bom julgamento baseado na experiência e uma compressão das limitações matemáticas da função.

Os modelos aqui apresentados são considerados modelos básicos, denominados de modelos isotrópicos por Isaaks e Srivastava (1989). Tais modelos são utilizados para modelar fenômenos que possuem capacidade infinita de dispersão. Os autores consideram alguns modelos básicos de semivariogramas, os quais são utilizados pelo programas computacionais geoestatísticos. Estes modelos são: modelos esféricos (Sph), modelo exponencial (Exp) e o modelo gaussiano (Gau).

#### a) Modelo Esférico (Sph)

O modelo esférico é um dos modelos mais utilizados o qual apresenta uma estrutura de correlação espacial que aumenta com a distância até um certo ponto (alcance), a partir do qual, a semivariância se torna constante, limitando a área de influência de cada amostra. A equação do modelo esférico de semivariograma com efeito pepita  $C_0$  e patamar  $C_0 + C_1$  é da forma:

$$\begin{aligned} \text{Sph}(|h|) &= 0, & |h| &= 0 \\ C_0 + C_1 \left\{ 1,5 \frac{|h|^3}{a^3} - 0,5 \frac{|h|}{a} \right\}, & 0 < |h| \leq a \\ C_0 + C_1, & |h| > a. \end{aligned} \quad (7)$$

Segundo Viera et al. (1983) o modelo esférico é obtido selecionando-se os valores de efeito pepita  $C_0$  e do patamar,  $C_0 + C_1$ , depois passando-se uma reta que intercepte o eixo-y em  $C_0$  e seja tangente aos primeiros pontos próximos de  $h = 0$ . Essa reta cruzará o patamar à distância  $a' = 2/3 a$ . Assim, o alcance  $a$  será  $a = 3/2 a'$ . O modelo esférico é linear até aproximadamente  $1/3 a$ .

### b) Modelo Exponencial (Exp)

Este modelo atinge o patamar assintoticamente, com o alcance prático definido como a distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar (Isaaks e Srivastava, 1989). A equação do modelo exponencial de semivariograma com efeito pepita  $C_0$  e patamar  $C_0 + C_1$  é da forma:

$$\text{Exp}(|h|) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{3|h|}{a}\right] \right\}, \quad 0 < |h| < d, \quad (8)$$

onde  $d$  é a máxima distância na qual o semivariograma é definido. Uma diferença fundamental entre o modelo exponencial e esférico é que o exponencial atinge o patamar apenas assintoticamente, enquanto que o modelo esférico o atinge no valor do alcance. O parâmetro “ $a$ ” é determinado visualmente como a distância após a qual o semivariograma se estabiliza. Os parâmetros  $C_0$  e  $C_1$  para o modelo exponencial são determinados da mesma maneira que para o esférico.

No ajuste deste modelo ao semivariograma experimental, é útil lembrar que a tangente, no origem, alcança o patamar em torno de 1/5 do alcance (Isaaks e Srivastava, 1989).

### c) Modelo Gaussiano (Gau)

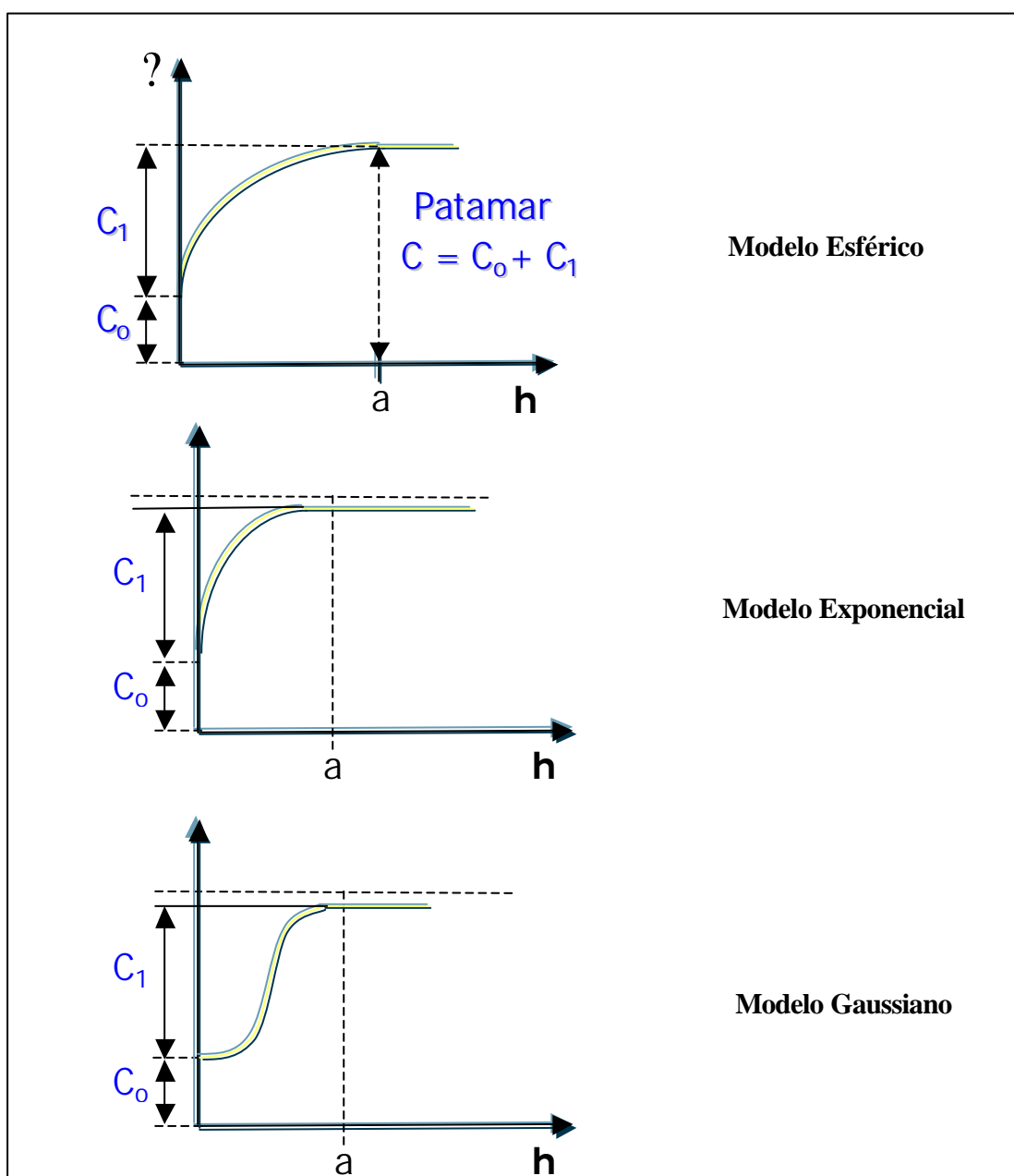
O modelo Gaussiano é um modelo transitivo, muitas vezes usado para modelar fenômenos extremamente contínuos (Isaaks e Srivastava, 1989). Semelhante no modelo exponencial, o modelo gaussiano atinge o patamar assintoticamente e o parâmetro “ $a$ ” é definido como o alcance prático ou distância na qual o valor do modelo é 95% do patamar. O que caracteriza este modelo é seu comportamento parabólico próximo à origem e é o único modelo que apresenta em sua forma, um ponto de inflexão (Isaaks e Srivastava, 1989).

A equação do modelo exponencial de semivariograma com efeito pepita  $C_0$  e patamar  $C_0 + C_1$  é da forma:

$$\text{Gau}(|h|) = C_0 + C_1 \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{3|h|^2}{a^2}\right] \right\}, \quad 0 < |h| < d, \quad (9)$$

os parâmetros  $C_0$  e  $C_1$  para o modelo Gaussiano são determinados da mesma maneira que para o esférico.

O Gráfico dos modelos Esférico, Exponencial e Gaussiano são apresentados na Figura 2.5.



**Figura 2.5** – Gráfico dos modelos Esférico, Exponencial e Gaussiano.

#### **2.4.4. Krigagem**

De acordo com Isaaks e Srivastava (1989), a diferença entre krigagem e outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No caso de interpolação linear simples, por exemplo, os pesos são todos iguais a  $1/N$  ( $N$ = número de amostras); na interpolação baseada no inverso do quadrado das distâncias, os pesos são definidos como o inverso do quadrado da distância que separa o valor interpolado dos valores observados. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por médias moveis ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseado no semivariograma experimental. Além, disso, a krigagem fornece, em média, estimativas não tendenciosas com variâncias mínimas.

**Os mesmos autores afirmam ainda que, uma estimativa pode ser feita a partir de uma série de valores medidos  $z(x_i)$ , por meio de uma combinação linear ponderada, associado-se a cada valor medido um peso  $\omega_i$ . Com respeito ao número de observações a serem usadas nesta estimativa, os autores salientam que se o fenômeno apresenta grande continuidade, então pode-se usar apenas os vizinhos mais próximos. Quanto mais errático for o processo, mais as estimativas devem incluir dados distantes.**

Segundo Journel (1989), a idéia básica de regressão linear é a estimativa de um valor desconhecido  $Z_0$  por meio de uma combinação linear de  $N$  valores conhecidos,  $Z_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . Na krigagem, esses  $N$  valores conhecidos são de uma mesma propriedade. O estimador pode ser escrito como :

$$Z^*(x_0) = \omega_0 + \sum \omega_i z(x_i) \quad (10)$$

e o erro médio é  $E\{Z(x_0) - Z^*(x_0)\} = m - \omega_0 - \sum m \omega_i = -\omega_0 + m (1 - \sum \omega_i)$ .

Esse erro será nulo apenas se:

$$\omega_0 = 0 \text{ e } \sum \omega_i = 1$$

O que é necessário para garantir que o estimador será não tendencioso. Além disto, na krigagem a variância da estimativa é mínima, ou seja:

$$\sigma^2_E = E\{[Z^*(x_0) - Z(x_0)]^2\} = \text{mínimo.} \quad (11)$$

Essas duas condições garantem que o estimador de krigagem é, segundo Oliver e Webster (1990), “BLUE” (Best Linear Unbiased Estimator), o melhor estimador linear não tendencioso de variância mínima.

Para finalizar a revisão bibliográfica sobre geoestatística segue na Tabela 2.1 uma confrontação entre dois métodos de inferência.

**Tabela 2.1** - Características dos Métodos de Inferência.

<b>Métodos Geoestatísticos</b>	<b>Métodos Convencionais de Interpolação</b>
Os pesos são determinados a partir de uma análise de correlação espacial baseada no semivariograma. $li = f [?(h)]$	Os pesos são determinados meramente em função da distância. $li = f (di)$
Área de influência na interpolação é indicada pelo alcance.	Raio de busca é arbitrário
Modela anisotropia, isto é, detecta as direções de maior e menor continuidade espacial do fenômeno.	Anisotropia é ignorada
Trata redundância (“Clusters”), isto é, atribui pesos adequados para agrupamentos de amostras.	Redundância é ignorada. Neste caso, podem ocorrer superestimação ou subestimação de valores.

**Fonte:** Geoestatísticas Fundamentos e Aplicações (2001)

**Autor:** Eduardo Celso Gerbi Camargo



# Capítulo 3

## Área de Estudo, Materiais Cartográficos e Método da Pesquisa

---

No decorrer deste capítulo será apresentada a área de estudo, o material utilizado no desenvolvimento do projeto, assim como a metodologia aplicada para gerar as superfícies do terreno através dos módulos do ImageStation. Além disso, também será abordada a aplicação da técnica de geoestatística como ferramenta na avaliação da qualidade geométrica dos produtos cartográficos.

### **1.1.4 3.1 – ÁREA DE ESTUDO – MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS – PARANÁ.**

#### **1.1.4.1 3.1.1. FUNDAÇÃO E EVOLUÇÃO DE SÃO JOSÉ DOS PINHAIS**

Um acontecimento sucedido no Rio de Janeiro definiu o nascimento da Cidade e do Município de São José dos Pinhais. No ano de 1600 pereceram vitimados de mal feitores o casal Antonio Taques e sua esposa Maria de Souza Coutinho, casal de grande prestígio social, que deixaram como filhos o seminarista João da Veiga Coutinho, mais tarde cônego da Sé do Rio de Janeiro, e sua irmã Maria Cassere.

Amigos influentes dos assassinos recorreram ao cura da igreja da Candelária para que o mesmo conseguisse dos filhos o perdão dos culpados da morte dos genitores. O sacerdote logrou o perdão para os assassinos, levando consigo uma imagem de Cristo crucificado, diante da qual conseguiu o referido perdão.

João da Veiga Coutinho ficou com a imagem do crucificado com o objetivo de servir de patrono à capela que pretendia erguer em uma de suas fazendas, situada na região que hoje constitui o município de São José dos Pinhais, no estado do Paraná.

Este episódio foi o passo decisivo para o início da cidade que num acontecimento de perdão teve o seu berço definitivo.

Efetivamente, João da Veiga Coutinho, já então ordenado padre, ergueu em 1690 uma capela sob invocação de BOM JESUS DOS PERDÕES. Seis anos mais tarde, por escritura pública, doou para a capela as suas duas fazendas Águas Belas e Capucú. A povoação cresceu com a influência de mineradores de ouro nas minas situadas às margens do rio São João.

Em 1758 a povoação foi elevada a freguesia, tendo como igreja matriz a capela de Bom Jesus dos Perdões, havendo necessidade de construção de um novo templo. Enquanto se levantava a nova igreja, seria interinamente de matriz paroquial a Capela com o título de São José. Provavelmente aí está a origem do nome definitivo do município e cidade. Posteriormente a capela do Bom Jesus dos Perdões foi demolida, por achar-se em ruínas, sendo a imagem remetida ao Rio de Janeiro. Não existe certeza do local exato onde se situava a capela que foi o berço da cidade, há hipóteses de que abrangiam as regiões Afonso Pena e Guatupê.

Em dezembro de 1793, por ordem do Vigário Capitular de São Paulo, o vigário de São José entregou os bens da Capela ao administrador nomeado Capitão Antonio Teixeira de Oliveira Cordeiro.

Como marco da evolução de São José vale destacar ainda que em 1831 criou-se a primeira escola primária. Em 1852 pela Lei Provincial nº. 10 de 16 de junho a freguesia foi elevada a condição de vila e município, sendo o mesmo instalado em 8 de janeiro de 1853.

Em 5 de abril de 1877, foi criada a Comarca de São José e classificada de 1ª estância em 27 de dezembro de 1878. Em 27 de dezembro de 1897 a vila foi elevada a categoria de cidade.

### **3.1.2. Características Geográficas:**

**a) Localização:**

O Município de São José dos Pinhais está localizado numa área territorial com latitude 25 graus 32 minutos SUL e longitude 49 graus e 12 minutos W-GR, situa-se aproximadamente a 15 Km de Curitiba (SETR/99), faz parte da Região Metropolitana, conforme apresentado na Figura 3.1. As principais localidades são: Colônia Murici, Colônia Marcelino, Colônia Zacarias, Barro Preto, Cachoeira, Campo Largo da Roseira, Roseira de São Sebastião, Guatupê, Borda do Campo e outros.

**b) Limites:**

Norte: Curitiba, Pinhais e Piraquara

Sul : Tijucas do Sul

Leste : Morretes e Guaratuba

Oeste : Mandirituba e Fazenda Rio Grande

A área do município de São José dos Pinhais é de aproximadamente: 952,86 Km<sup>2</sup> - Fonte: Planimetrado pelo INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ - IAP, área sendo revisada pela Fonte.

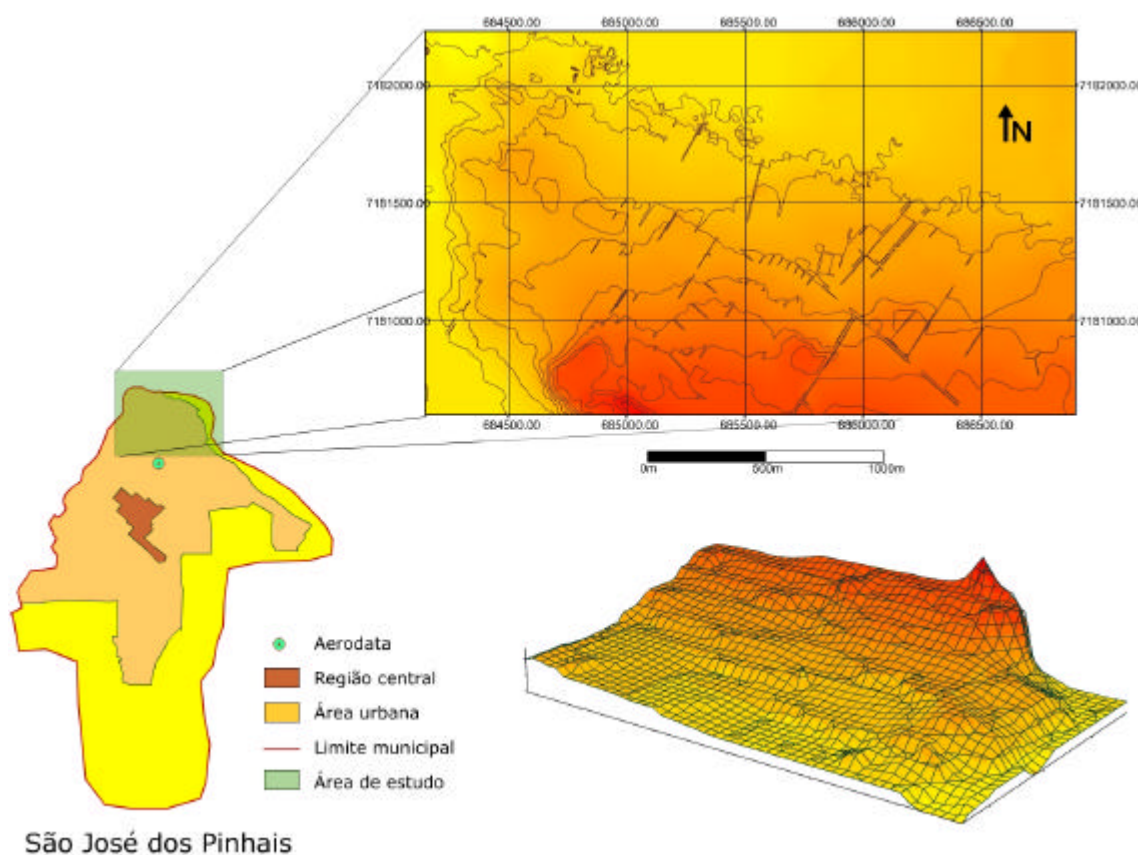
Por meio de fotografias aéreas, a Figura 3.4 caracteriza a área de estudo definida para a execução do projeto, a qual encontra-se no extremo norte no município de São José dos Pinhais – PR. Esta escolha deu-se pelo fato de haver disponíveis restituições cartográficas datadas de 1990 e 1999, bem como dados cartográficos básicos para a geração da cartografia de 2000, através do sistema fotogramétrico digital. Um outro fator de suma importância deve ser considerado na definição da área de interesse à pesquisa, pois especificamente a região norte do Município de São José dos Pinhais, apresenta-se como sendo uma região de grande potencial à ocupação urbana, merecendo ser cartograficamente estudada.

Esta área de estudo caracteriza-se como sendo uma região tipicamente plana do primeiro planalto do Estado do Paraná, além disso, percebe-se que segundo os editais públicos de fomento a Modernização do Poder Público, na sua maioria são voltados ao planejamento ou replanejamento das áreas urbanas. Assim, houve uma perfeita adequação entre o objetivo da

pesquisa, a expectativa dos órgãos de fomento e a necessidade do governo municipal em explorar a área plana como potencial de ocupação urbana.



**Figura 3.1:** Posição Geográfica do Município de São José dos Pinhais - PR no contexto nacional



**Figura 3.2:** Posição Geográfica da área de estudo no Município de São José dos Pinhais - PR

### 3.1.3. Posição do Município no contexto Nacional e Regional

Um dos maiores municípios do Paraná em população, São José dos Pinhais, prepara-se para assumir definitivamente seu papel de destaque a nível nacional e internacional, ao experimentar uma fase de grande desenvolvimento econômico e social. Daqui há três anos, segundo prevêm administradores e urbanistas, São José dos Pinhais se transformará no maior pólo de desenvolvimento do Estado, como resultado das ações que a atual administração está adotando. Condições materiais e políticas para isso não lhe faltam.

Com localização extremamente privilegiada separada de Curitiba apenas por algumas pontes sobre o rio Iguaçu, é cortada pela BR 277 e 376 e, Contorno Leste, sendo o elo de ligação entre

o Sudoeste, Centro-Oeste, Nordeste e Sul do Brasil e os países do Mercosul. Por estas condições é considerada uma metrópole. Toda esta infra-estrutura foi reforçada com a construção do novo Aeroporto Internacional Afonso Pena, um dos mais modernos do país. São José dos Pinhais possui mais de nove mil empresas instaladas, mantém comércio bem estruturado e, do total, 858 atuam no ramo industrial. Os principais segmentos industriais atuam nos setores moveleiro, metal, mecânico, têxtil, alimentos, plásticos, química fina, artefatos de cimento, eletroeletrônicos, perfumes e cosméticos.

O desenvolvimento sustentável tem sido o objetivo constante da administração do município, pois o progresso econômico só realmente se efetiva acompanhado de boa qualidade de vida. Muitas das indústrias são empresas de grande porte e líderes de mercados nacional e internacional. Entre elas, estão a Benetton, o Boticário, Marcopolo, Gessy Lever, Cica, Britânia, Nutrimental, Lufer, Latal, Argus, Magius, Multilit. São José dos Pinhais conta ainda com dois Distritos Industriais, nos quais estão instaladas as Fábricas da Renault e Volkswagen-Audi, além de mais de uma dezena de indústrias de autopeças fornecedoras das montadoras multinacionais.

São José dos Pinhais possui um Plano de Incentivo Empresarial, que proporciona estímulos, isenções tributárias e redução de alíquotas às empresas que se instalem no município, ou as já instaladas que venham a ampliar suas atividades.

Dessa forma, foram fatores fundamentais para nortear o desenvolvimento do trabalho em São José dos Pinhais o fato do município apresentar perspectivas de desenvolvimento, e por dispor de produtos cartográficos (mapas) de épocas distintas, gerados a partir da cartografia analítica. Além disso, obteve-se o apoio incondicional da Prefeitura do Município e da Empresa Aerodata Engenharia e Aerolevantamentos S.A., situada em São José dos Pinhais, portanto tendo este cenário a frente no momento de decisão para a escolha da área de desenvolvimento do projeto, não hesitou-se em relação a escolha de São José dos Pinhais.

### **3.2. Materiais Utilizados**

Os materiais/equipamentos relacionados e descritos a seguir foram fundamentais para que o projeto proposto se concretizasse, assim fizeram parte de um conjunto de ferramentas que

permitiram aplicar uma série de técnicas consideradas de “alta tecnologia” para a cartografia atual, mais especificamente para a geração da cartografia digital.

### **3.2.1 – Materiais Utilizados para geração do Produto Cartográfico de 1990**

- a) Câmera Aérea;
- b) Fotos Aéreas na escala 1:8000;
- c) Equipamentos de revelação e reprodução fotográfica;
- d) Pontos de Apoio – Levantamento a Campo realizado pela Empresa Geokosmos – Geodésia e Consultoria Ltda. Equipamento de rastreo - ASHTECH modelo L-XII, período de rastreo 12/01/90 a 22/01/90;
- e) Equipamento PUG – objetivo de perfurar os diapositivos;
- f) Restituídor Analítico – BC3 – Wild;
- g) Micro Computador acoplado ao restituidor;
- h) Software CAD;
- i) Equipamentos e softwares auxiliares à execução da restituição planialtimétrica.

### **3.2.2 – Materiais Utilizados para geração do Produto Cartográfico de 1999**

- a) Câmera Aérea, Altura de Vôo: 4000 ft;
- b) Fotos Aéreas nº 520, nº de modelos 498, Escala das fotos 1:8000;
- c) Equipamentos de revelação e reprodução fotográfica;
- d) Pontos de Apoio – Levantamento a Campo;
- e) Equipamento PUG – objetivo de perfurar os diapositivos;
- f) Restituídor Analítico – BC3 – Wild;
- g) Micro Computador acoplado ao restituidor;
- h) Software CAD;
- i) Equipamentos e softwares auxiliares para execução da restituição planialtimétrica.

### **3.2.3 – Materiais Utilizados para geração do Produto Cartográfico de 2000**

#### **a) Coleta de Dados**

- i. Câmera Aérea RMK TOP – 15;

- ii. Pontos de apoio – levantamento a campo usando o Sistema de Posicionamento Global ou GPS (Global Positioning System) – Modelo Trimble 4600 LS, com uma frequência L1 – método aplicado: diferencial estático – executado pela Empresa Fotogeo – Curitiba - PR;
- iii. Fotos aéreas – filmes - diapositivos;
- iv. Equipamentos de revelação e reprodução fotográfica.

#### **b) Revisão Bibliográfica**

- i. Literatura específica adquirida na Alemanha, durante o período de estágio sanduíche no IPF – Instituto de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto da Universidade de Karlsruhe;
- ii. Literatura pesquisada na *internet*;
- iii. Comunicação por e\_mails, chats e listas de discussão;
- iv. Levantamento da bibliografia nacional disponível.

**c) Sistema ImageStation SSK™ Pro** - compreende um conjunto de hardware e software específicos para transformar seu Microcomputador em um restituidor digital de alta performance. A ImageStation SSK™ combina um kit de componentes de hardware que inclui uma placa gráfica, um sistema de visualização estéreo tridimensional, um mouse especial para entrada de dados em 3D, software para visualização 3D além de produtos específicos para fotogrametria.

Componentes de Hardware:

- ?? Pentium II 300Mhz e 512Kb;
- ?? 128MB de memória RAM;
- ?? Placa Gráfica Intense 3D Pro Open GL 2200S Stereo Frame Buffer;
- ?? Emissor Infravermelho;
- ?? Par de óculos de Cristal Líquido;
- ?? Mouse para entrada de dados 3D (X,Y e Z) de alta precisão (Immersion Technology);
- ?? Monitor 21" de alta resolução e multi-sync;
- ?? Processador de compressão de imagem JPEG.

Componentes de Software: ImageStation SSK™ Pro



- ?? ImageStation Photogrammetric Manager (ISPM);
- ?? ImageStation Digital Mensuration (ISDM);
- ?? ImageStation Stereo Display (ISSD);
- ?? ImageStation Feature Collection (ISFC);
- ?? ImageStation DTM Collector (ISDC).

#### **d) Sistema Cartográfico convencional**

- i. Aerofotos / cópia por contato;
- ii. Diapositivos;
- iii. Pontos de Apoio – Levantamento a campo;
- iv. Aerotriangulação convencional;
- v. Geração do MDT – Modelo Digital do Terreno.

#### **e) Softwares de Análise Estatística**

- i. Minitab for Windows release 13.0;
- ii. Variowin 2DP;
- iii. Variowin Prevar 2D – com PCF – versão 2.4;
- iv. Variowin Model – versão 2.2.

Os softwares variowin foram desenvolvidos por Ivan Pannatier, Instituto de Mineralogia na Universidade de Lausanne, Suíça.

**f) Computador K6** – 350Mhz - 10Gb HD, 64 Mb RAM, Monitor 14”;

**g) CD ROM** (Yamaha CDE 400) – em invólucro externo, 4/6x software CDR para computadores Silicon Graphics;

**h) Drive DAT** 4mm (86 Gb);

**i) Escaner – Carl Zeiss – SCAI** – Precisão fotogramétrica para fotos coloridas e branco e preto compreendendo: unidade de escaner básico SCAI com estágio para fotos estacionárias para transparências a serem escaneadas, carro ótico móvel e módulo CCD para escaner de cores com sensor de linhas CCD com 5632 pixel, escaneamento simultâneo nas cores vermelho, verde e azul, formato máximo 275mm (na direção do filme) x 250mm (contra a direção do filme), resolução geométrica de 1?m , resolução selecionável em pixel 7 / 14 / 21 / 28 / 56 / 112 / 224?m (3628 dpi – 113 dpi), resolução radiométrica 256 níveis de cinza, sistema

de iluminação para iluminação difusa, unidade de controle e interface SCSI-2 para outro computador.

**j) ZipDrive Iomega 100** - porta Paralela;

**k) Software CAD** – AutoCad 14, AutoCad 2000 e MicroStation 95;

**l) Software SPRING 3.2** – INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – Software utilizado para Geoprocessamento – tecnologia nacional – versão *shareware* ;

**m) Software SURFER 3.2** – Golden Software Inc. v. 3.2, software específico para geração tridimensional de terrenos.

### **3.3. Metodologia Empregada**

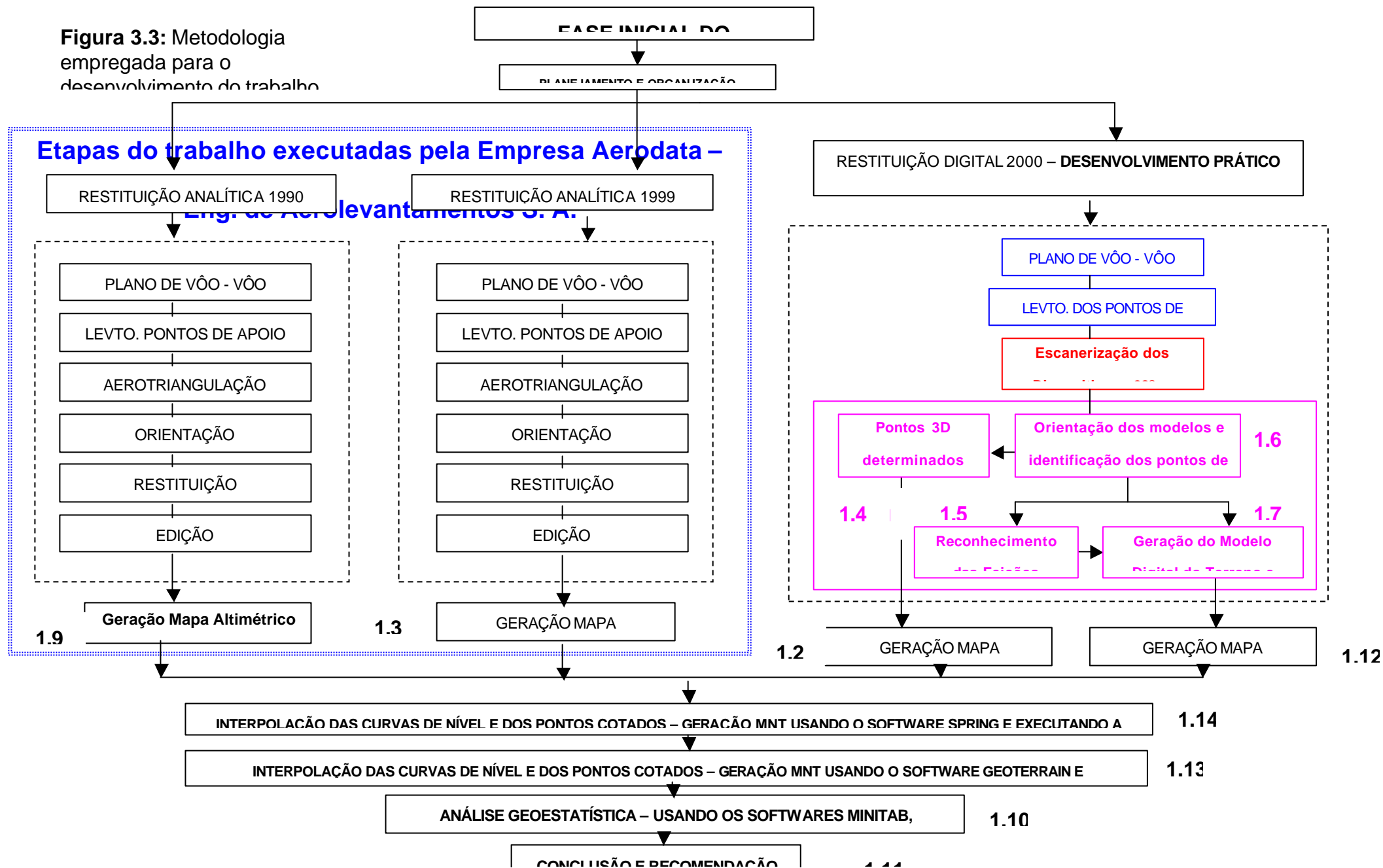
Toda a metodologia utilizada na execução deste trabalho está sintetizada na forma de fluxograma conforme apresentado na Figura 3.3.







**Figura 3.3:** Metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho





Grande parte do trabalho foi desenvolvido utilizando o sistema ImageStation, enfocando as tarefas realizadas no sistema fotogramétrico digital voltadas à geração do modelo tridimensional do terreno (curvas de nível), isso porque considerou-se que o sistema convencional (método analítico) para geração de cartografia esta consagrado e é de domínio incontestável por técnicos da área de fotogrametria.

#### **1.1.4.2 3.3.1. DESCRIÇÃO PASSO A PASSO DAS ETAPAS EXECUTADAS NO DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

Para descrever as etapas desenvolvidas no trabalho adotou-se o critério fundamentado na Figura 3.3 , tornando-se desse modo, mais fácil a compreensão das atividades executadas. Portanto, utilizou-se uma nomenclatura separada por datas e etapas para representar cada fase das atividades cartográficas, referidas aos anos de 1990, 1999 e 2000 para o município de São José dos Pinhais - PR.

##### **3.3.1.1. Atividades desenvolvidas para a confecção do produto cartográfico - 1990**

Comentários sobre as atividades envolvidas no processo de produção cartográfica que abordam a tecnologia analítica será restrita neste trabalho, uma vez que foge ao escopo do estudo. Além disso, deve-se considerar que a tecnologia analítica já se apresenta consumada pelas empresas de aerolevantamentos, seguindo etapas de trabalho assumidas e comprovadas por vários pesquisadores com relação ao processo produtivo, precisão, escala e objetivo do trabalho / mapeamento.

Detalhamento das atividades, em algum caso passo a passo usando a fotogrametria analítica pode ser encontrada em Oliveira (1996), Walker (1995), Petrie (1983).

##### **3.3.1.2. Atividades desenvolvidas para a confecção do produto cartográfico - 1999**



A mesma consideração deve ser feita neste item em relação ao item 3.3.1.1., uma vez que também aborda a tecnologia analítica, diferenciando somente na época de mapeamento, ou seja, mapeamento do Município de São José dos Pinhais realizado em 1999.

#### 3.3.1.3. Atividades desenvolvidas para a confecção do produto cartográfico - 2000

**Etapas 1 – Levantamento de dados** - Para o desenvolvimento do trabalho foi concebida e estudada as atividades que fundamentariam os passos posteriores, sempre calcado na viabilidade de fato de cada etapa. Além disso, foi definida a área de estudo e conseqüentemente inicializada a coleta de dados importantes para a execução das atividades, ou seja a execução do plano de vôo e posteriormente o planejamento dos pontos de apoio.

Ainda nesta primeira fase do trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica sobre o assunto, sendo grande parte da literatura internacional, adquirida na Alemanha graças a parceria existente entre o Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – UFSC; com o Instituto de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto da Universidade de Karlsruhe, Alemanha.

**Etapas 2 – Escanerização** - Para se executar esta etapa do trabalho fez-se necessário um estudo prévio da aplicação do produto final desejado, ou seja a quais objetivos o mapeamento atenderia. Pois, somente fundamentado nas necessidades do usuário, teve-se noção de como proceder ao início dos trabalhos no escaner Phodis - SCAI.

Dessa forma, foram definidos todos os parâmetros necessários a escanerização através da utilização do recurso da pré-escanerização, o qual permitiu avaliar a qualidade do produto a ser gerado. Depois de executada a tarefa de escanerização, ainda pode-se utilizar o recurso de calibração radiométrica para melhorar a qualidade da imagem.

Optou-se pela escanerização com resolução de 28 µm, seguindo recomendação dos técnicos da empresa Zeiss/Intergraph – Oberkochen, em função da sua experiência em mapeamento, obedecendo a relação de precisão para a escala final desejada. Além disso, foram considerados o tamanho do arquivo e sua viabilidade de manipulação mediante a configuração do sistema computacional. Assim, cada diapositivo digitalizado obteve em média o tamanho de

200Mb no formato TIFF (específico do Scanner SCAI), porém após a manipulação dessas imagens no sistema ImageStation SSK, através da conversão de imagens raster, foi possível comprimí-las para o formato JPEG (específico para manipulação no sistema ImageStation), resultando num arquivo para cada diapositivo em torno de 30Mb.

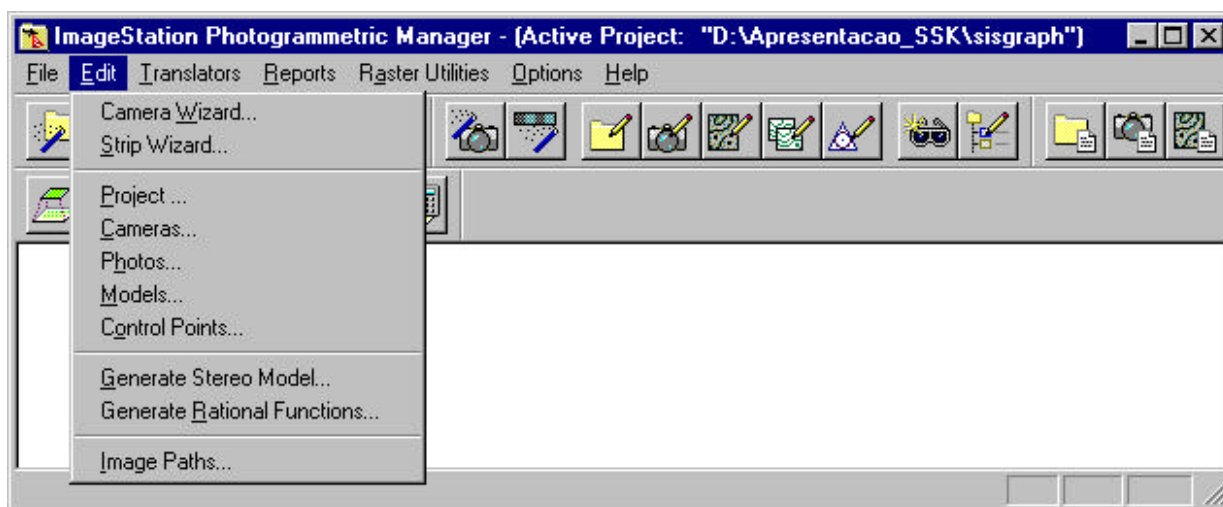
Após o processo de digitalização dos diapositivos e sua respectiva entrada no sistema ImageStation, juntamente com alguns outros dados, tais como: coordenadas dos pontos de controle, certificado de calibração da câmera fotogramétrica entre outros, tornou-se possível iniciar o processo de geração do mapeamento. Para a geração de produtos cartográficos a empresa Sisgraph, representante do sistema ImageStation da Zeiss/Intergraph, disponibilizou aos usuários vários módulos, os quais viabilizaram executar as etapas pertinentes ao processo de mapeamento do projeto em questão, assim segue abaixo a relação dos módulos usados no Projeto São José do Pinhais:

- ?? ImageStation Photogrammetric Manager (ISPM)
- ?? ImageStation Digital Mensuration (ISDM)
- ?? ImageStation Stereo Display (ISSD)
- ?? ImageStation Feature Collection (ISFC)
- ?? ImageStation DTM Collector (ISDC)

### **Etapa 3 (E<sub>3</sub>) – Manipulação dos dados nos módulos do sistema ImageStation**

**Etapa 3.1 (E<sub>3.1</sub>) - ImageStation Photogrammetric Manager (ISPM)** – Este módulo permitiu gerenciar o projeto de restituição. Configurando-se a entrada de dados de vôo, de câmera e de terreno para a geração dos modelos fotogramétricos.

O primeiro passo neste módulo foi a criação de um novo projeto, ou seja o Projeto São José dos Pinhais (SJP), o qual permitiu definir os parâmetros do projeto de restituição. Ao ativar o comando New Project uma sequência de perguntas foi respondida na forma (Wizard), tornando simplificada as respostas para todos os campos necessário a configuração do projeto, conforme apresentado abaixo na Figura 3.4.



**Figura 3.4** – Tela de configuração dos parâmetros de entrada no sistema ImageStation (ISPM)

As principais características deste módulo estão referidas as configurações e entradas dos dados no sistema ImageStation, dessa forma, alguns parâmetros de suma importância tiveram que ser configurados, conforme segue:

**a) Definição de parâmetros da câmera usados no projeto SJP;**

Na Tabela 3.1 é apresentado os parâmetros utilizados para a configuração do sistema ImageStation, obtidos a partir do Certificado de Calibração da câmera aerofotogramétrica.

**Tabela 3.1** – Parâmetros usados na configuração da câmera aerofotogramétrica

begin camera_parameters	RMK_SJP	-	-
focal_length:	152.755	-	-
ppac:	0.005	-0.001	-
ppbs:	0	0	-
film_format:	230 X 230	-	-
fiducial:	1	113.015	-0.007
fiducial:	2	-112.993	-0.01
fiducial:	3	0.011	112.996
fiducial:	4	-0.00899	-113.015
fiducial:	5	113.011	113.009
fiducial:	6	-112.989	-113.013
fiducial:	7	-112.992	112.988
fiducial:	8	113.02	-112.998
lens_distortion_flag:	off	-	-
IO_required:	yes	-	-
camera_type:	frame	-	-
media_type:	film	-	-

end camera_parameters	-	-	-
-----------------------	---	---	---

**b) Definição da faixa e nomenclatura automática das fotos;**

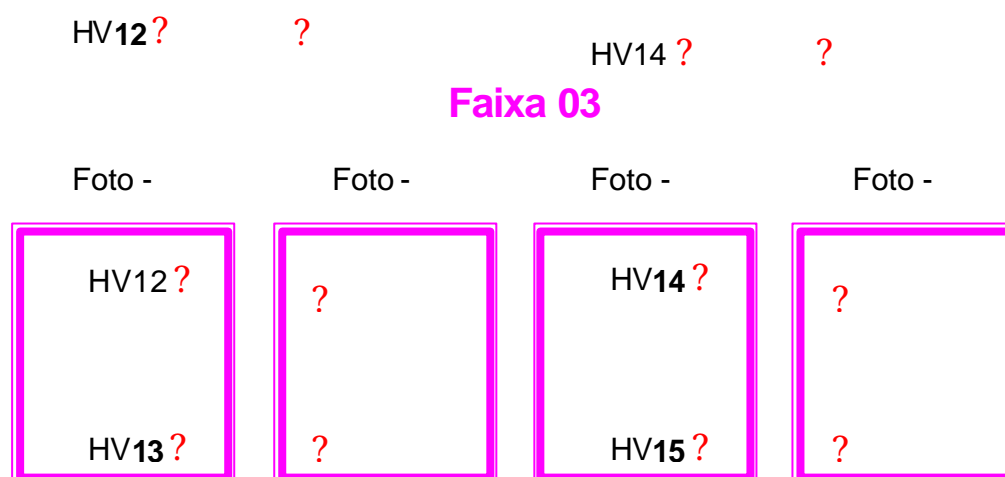
Inicialmente pensou-se em trabalhar numa área maior que a escolhida, entretanto este trabalho tem caráter de pesquisa e não de prestação de serviço, dessa forma em função principalmente do tempo disponível para a execução do projeto optou-se por trabalhar em duas faixas contendo cada uma quatro fotos. Portanto, considerou-se a área de estudo como sendo uma amostra representativa de todo o Município de São José dos Pinhais, uma vez que contempla uma pequena área rural e outra urbana, conforme apresentado nas Figuras 3.5 e 3.6.



**Figura 3.5** – Mosaico da área de estudo – Fotos de 2000 – São José dos Pinhais – PR.

**Faixa 02**

Foto -	Foto -	Foto -	Foto -
<div style="border: 2px solid blue; padding: 10px; text-align: center;">           HV04  <span style="color: red;">?</span> </div>	<div style="border: 2px solid blue; padding: 10px; text-align: center;"> <span style="color: red;">?</span> </div>	<div style="border: 2px solid blue; padding: 10px; text-align: center;">           HV06<span style="color: red;">?</span> </div>	<div style="border: 2px solid blue; padding: 10px; text-align: center;"> <span style="color: red;">?</span> </div>



**Figura 3.6 – Representação gráfica das fotos, faixas e pontos de apoio referentes ao levantamento aerofotogramétrico de 2000.**

### c) Entrada ou Importação dos pontos de controle de terreno em ASCII;

Para a área de trabalho definida no projeto foram usados seis pontos de controle (ver Tabela 3.2), sendo estes pontos tomados através do Sistema de Posicionamento Global ou GPS (Global Positioning System) – Modelo Trimble 4600 LS, com uma frequência L1 – método aplicado, diferencial estático – executado pela Empresa Fotogeo - Curitiba

**Tabela 3.2 – Relação dos pontos de apoio tomados por GPS**

Número do ponto	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z
12	684502.868	7181190.372	878.51
13	684576.922	7179823.448	874.48
14	686628.138	7181056.498	879.63
15	686752.944	7179745.102	885.48
06	686595.187	7182324.287	888.30
04	684675.206	7182393.512	876.61

Depois de definido os parâmetros iniciais do projeto, ou seja, dados da câmera, pontos de apoio, identificação das fotos e elaboração das faixas, iniciou-se a confecção dos modelos fotogramétricos ou estéreo modelos.

As imagens epipolares foram criadas para ficarem aproximadamente paralelas a base dos olhos. Durante a orientação as imagens foram registradas *pixel-to-pixel* e *pixel-to-ground*. A reamostragem estéreo é um processo em *batch* no sistema, que retificou a área de sobreposição e corrigiu os pixels para poder gerar a visão estéreo.

Para finalizar esta parte de estruturação e configuração dos dados o último passo foi a geração do modelo estéreo para o projeto São José dos Pinhais, o qual foi configurado no sistema ImageStation da forma como se apresenta nos quadros 3.1 a 3.6:

**Quadro 3.1** – Definição do modelo estereoscópico 3-7 e 3-8

<b>Modelo: 3~7 + 3~8</b>	
Foto Esquerda:	7
Faixa:	3
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx03_07_Lft.epc
Foto Direita:	8
Faixa:	3
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx03_08_Rgt.epc

**Quadro 3.2** – Definição do modelo estereoscópico 3-8 e 3-9

<b>Modelo: 3~8 + 3~9</b>	
Foto Esquerda:	8
Faixa:	3
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx03_08_Lft.epc
Foto Direita:	9
Faixa:	3
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx03_09_Rgt.epc

**Quadro 3.3** – Definição do modelo estereoscópico 3-9 e 3-10

<b>Modelo: 3~9 + 3~10</b>	
Foto Esquerda:	9
Faixa:	3
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx03_09_Lft.epc
Foto Direita:	10
Faixa:	3
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx03_10_Rgt.epc

**Quadro 3.4** – Definição do modelo estereoscópico 2-8 e 2-7

<b>Modelo: 2~8 + 2~7</b>	
Foto Esquerda:	8
Faixa:	2
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx02_08_Lft.epc
Foto Direita:	7
Faixa:	2
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx02_07_Rgt.epc

**Quadro 3.5** – Definição do modelo estereoscópico 2-7 e 2-6

<b>Modelo: 2~7 + 2~6</b>	
Foto Esquerda:	7

Faixa:	2
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx02_07_Lft.epc
Foto Direita:	6
Faixa:	2
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx02_06_Rgt.epc

**Quadro 3.6** – Definição do modelo estereoscópico 2-6 e 2-5

<b>Modelo: 2~6 + 2~5</b>	
Foto Esquerda:	6
Faixa:	2
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx02_06_Lft.epc
Foto Direita:	5
Faixa:	2
Identificação da Imagem:	E:\Projeto_SJP\IMAGENS\Fx02_05_Rgt.epc

#### d) Configurações gerais para o Sistema ImageStation

Ainda foi necessário configurar no sistema os seguintes elementos:

- ?? desvio padrão aceitável para medidas sobre o modelo fotogramétrico definido em microns, cujo valor foi de 5.4 microns;
- ?? raio da Terra em metros, conforme o datum definido para o Projeto de São José dos Pinhais, SAD69: 6378160m;
- ?? altura de vôo medida sobre o nível médio dos mares;
- ?? elevação média do terreno sobre ao nível médio dos mares;
- ?? máximas iterações, ou seja a definição do número máximo de interações para o ajustamento por Mínimos Múltiplos Quadrados (MMQ), que foi executado objetivando obter a convergência para a orientação interior ou exterior. O valor default foi mantido para a Orientação Interior (OI) e Orientação Exterior (OE) correspondendo a 10 vezes;
- ?? pontos fotogramétricos - campo opcional que define os pontos do tipo "User" que são gerados para cada imagem na coleta dos pontos de paralaxe (Pontos de von Gruber). A Figura 3.7 mostra que foram definidos três pontos de ligação entre fotos, entretanto o resultado mostrou-se insatisfatório aplicando esta metodologia, dessa forma decidiu-se implementar a quantidade de pontos de ligação entre fotos de três para cinco. Como resultado o ajustamento atendeu as expectativas e a superabundância de dados facilitou o ajustamento final.

**Default User Points**

You can optionally define a set of default "User" points to be generated for each image. These points may be used during Relative Orientation to facilitate the measurement process.

The naming convention for the User Points during the orientation process is "Strip"?"Photo"?"ID", where ? are single character user-defined delimiters. Enter Strip/Photo and Photo/ID delimiters here.

Strip/Photo Delimiter:  Photo/ID Delimiter:

Enter user point information and select the "Add" button. Coordinates may be selected from the preview diagram below or from pre-defined pattern.

ID:  X:  Y:

31  50  15

ID	X	Y
10	50	85
20	50	50
30	50	15

100, 100

0, 0

User Point Patterns:

Coordinate Readout: 10, 3

**Figura 3.7** – Configuração dos pontos de passagem

**Etapas 3.2 (E<sub>3.2</sub>) - ImageStation Digital Mensuration (ISDM)** - permitiu a medição dos pontos necessários ao processo de orientação do par estereoscópico. O ISDM também permitiu executar as tarefas pertinentes a realização da Orientação Interior, Orientação Relativa, Orientação Absoluta e Aerotriangulação. Os resultados desses processos automatizados pelo sistema encontram-se no Anexo A, na forma de relatório fornecido pelo próprio ImageStation.

A orientação consistiu basicamente na reconstrução da posição exata da câmera no momento de obtenção da foto. Esta posição consiste em um ponto no espaço, ou seja, três coordenadas (X1,Y1,Z1) e três rotações (Kapa, Fi, Omega) para cada uma das fotos.

O processo de orientação se divide no sistema em duas fases distintas:

- a) Orientação Interior;
- b) Orientação Exterior.

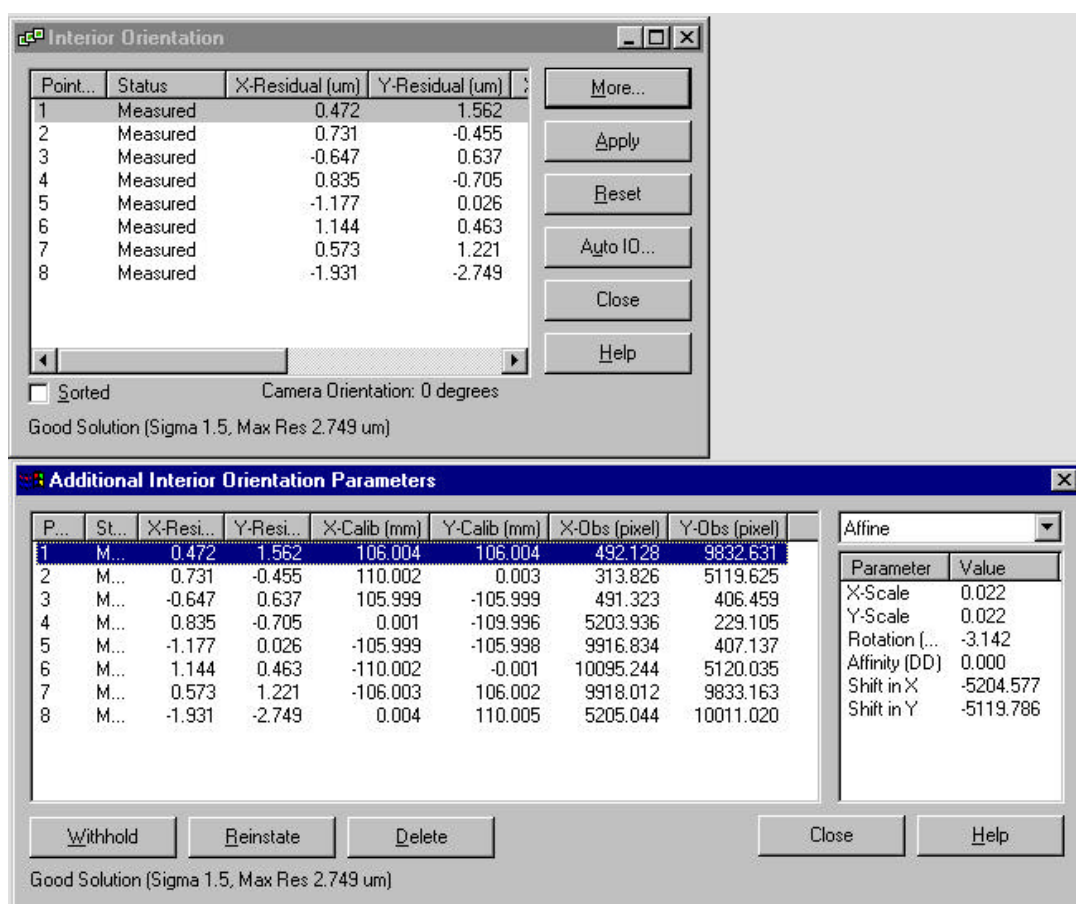


## A) ORIENTAÇÃO INTERIOR

A orientação interior (OI) foi a primeira orientação executada sobre as imagens. Esta orientação determinou o relacionamento entre as coordenadas fiduciais calibradas e as coordenadas de imagem (pixel). A posição calibrada de duas ou mais marcas fiduciais permitem calibrar a imagem como um todo. Este comando tornou possível medir a posição das marcas fiduciais de cada uma das oito imagens.

Para que se executasse a orientação interior, foi necessário medir as oito marcas fiduciais existentes nas imagens. Maiores detalhes sobre este processo podem ser verificados em Schickler (1995).

Durante a Orientação Interior, foi possível verificar os resíduos e parâmetros da transformação, consequentemente remedir, apagar ou mesmo retirar temporariamente algum pontos (afim de testar a precisão do mesmo), conforme mostrado na Figura 3.8. Após ter salvo a Orientação Interior o software gravou os resultados para restaurar a orientação a posteriori. Esta etapa foi realizada algumas vezes, de modo iterativo, até se obter um resultado satisfatório.



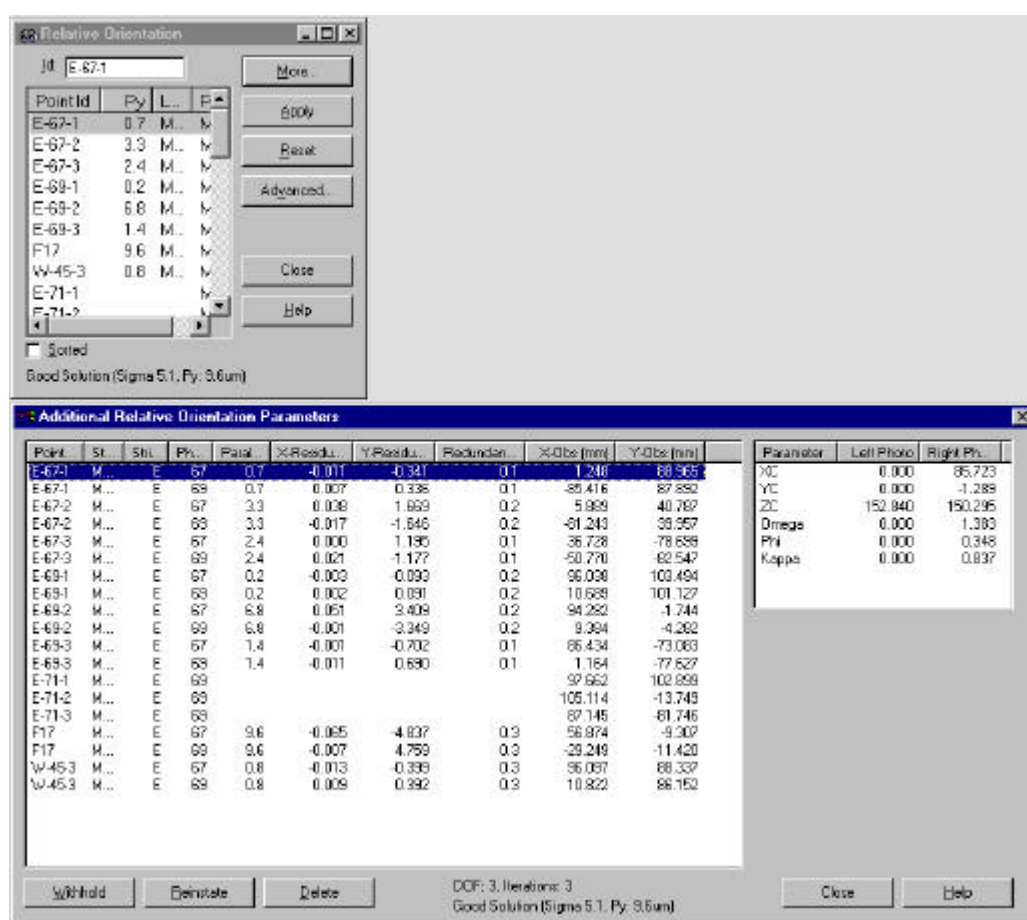
**Figura 3.8 – Relatório da orientação interior.**

## B) ORIENTAÇÃO EXTERIOR - A ORIENTAÇÃO EXTERIOR AINDA SE SUBDIVIDE EM:

**B.1) ORIENTAÇÃO RELATIVA - A ORIENTAÇÃO RELATIVA (OR) É O PROCESSO QUE DETERMINA O RELACIONAMENTO ENTRE AS IMAGENS. OR PERMITIU DEFINIR AS COORDENADAS DE UM PONTO (X,Y,Z) E ATITUDE DE UMA FOTO EM RELAÇÃO A OUTRA FOTO. O PROCESSO DE OR PERMITIU AINDA SELECIONAR UM GRUPO DE PONTOS DE PASSAGEM (*TIE POINTS*), CONFORME MOSTRADO NA FIGURA 3.9. OS PONTOS DE PASSAGEM FORAM PONTOS COLETADOS DE FORMA BEM DISTRIBUÍDA NA ÁREA DE SOBREPOSIÇÃO DAS FOTOS E FORAM UTILIZADOS COMO LIGAÇÃO ENTRE UMA FOTO E OUTRA. MAIORES DETALHES SOBRE O PROCESSO DE ORIENTAÇÃO RELATIVA PODEM SER ENCONTRADOS EM SCHICKLER (1995), MAYR E POTH (1995), HELLWICH ET AL (1994), TANG E HEIPKE (1993), (1994) E (1995).**

Uma transformação matemática foi calculada levando em consideração as coordenadas para o mesmo ponto na foto da direita e da esquerda. Os resultados foram apresentados na forma de resíduos, paralaxe em Y, somatória das redundâncias entre outros parâmetros estatísticos. O relatório deste processo encontra-se no Anexo A.

Para iniciar o processo de cálculo da orientação relativa foi necessário primeiramente medir 5 (cinco) pontos bem distribuídos conhecidos como (Pontos de von Gruber) e um sexto ponto tomado como conferência/controle, conforme mostrado na Figura 3.9.



**Figura 3.9** – Relatório final da orientação relativa.

A grande vantagem deste processo automatizado de identificação dos pontos de passagem, é a comodidade do operador em executá-lo, pois após iniciar o processo deve-se somente esperar o resultado final. Além disso, o método digital determina uma superabundância de pontos em relação ao método analítico, tornando sua utilização altamente confortável, uma vez que no

ajustamento final há uma maior flexibilidade em trabalhar com os dados. Dessa forma, no projeto desenvolvido para a área piloto de São José dos Pinhais, gerou-se em média, para cada par fotogramétrico 200 de pontos passagem. Entretanto, visando realizar o ajustamento final, houve a necessidade de esconder alguns pontos bem como eliminar outros.

**b.2) Orientação Absoluta** – Esta foi a última orientação executada sobre os modelos. A Orientação Absoluta (OA) determinou o relacionamento entre as coordenadas dos modelos (*Model coordinates*) e as coordenadas de terreno (*Ground coordinates*). Recomenda-se a leitura de Schickler (1992), caso objetiva-se adquirir maiores informações sobre o processo de orientação absoluta.

Durante a OA uma transformação matemática foi calculada usando-se as coordenadas medidas e as coordenadas dos modelos. O resultado é apresentado na forma de parâmetros da transformação e resíduos entre outros dados estatísticos, conforme apresentado no Anexo A.

Para que o processo de cálculo da OA iniciasse foi necessário primeiramente realizar a medida de pelo menos 3 (três) pontos de controle. Entretanto, conforme apresentado na Figura 3.6, o bloco selecionado possuía 6 (seis) pontos de controle com coordenadas planialtimétricas (X, Y e Z), as quais foram lidas e a seguir consideradas no sistema como *Full Control Points*. Estes pontos foram distribuídos no bloco, apresentando 4 (quatro) pontos nos extremos do bloco e 2 (dois) pontos principais fazendo a ligação entre fotos e faixas. A leitura dos pontos de controle (HV – Horizontal e Vertical) foi realizada de forma iterativa, controlando-se os seus resíduos, portanto eles foram lidos no mínimo cinco vezes em função da dificuldade de identificação acurada.

Assim, na Figura 3.10 apresenta-se uma cópia da tela na qual foi feito o monitoramento da qualidade na leitura das coordenadas tridimensionais, por outro lado na Figura 3.11 é apresentado o relatório final contendo todas as informações inerentes ao processo de orientação seja ela absoluta ou relativa.

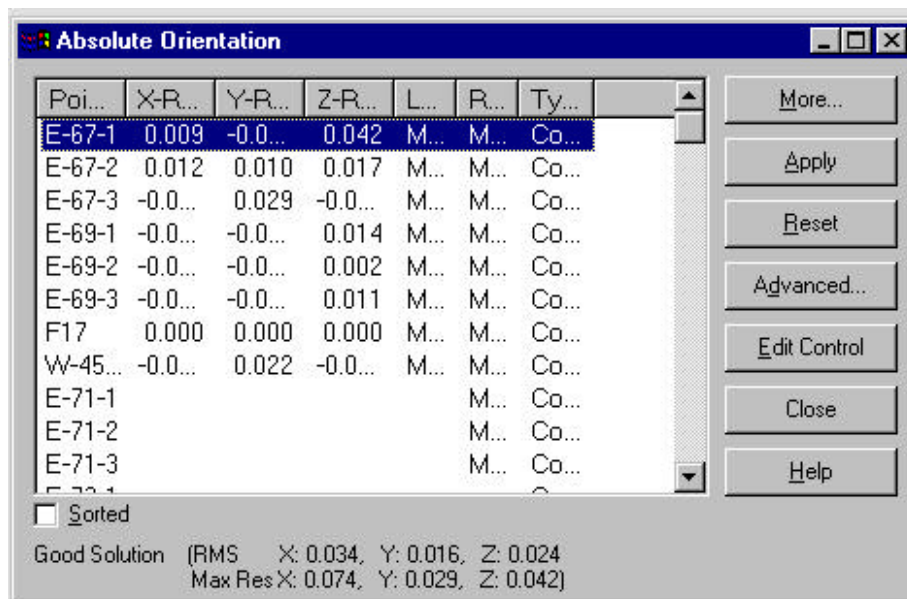


Figura 3.10 – Qualidade da leitura dos pontos de controle.

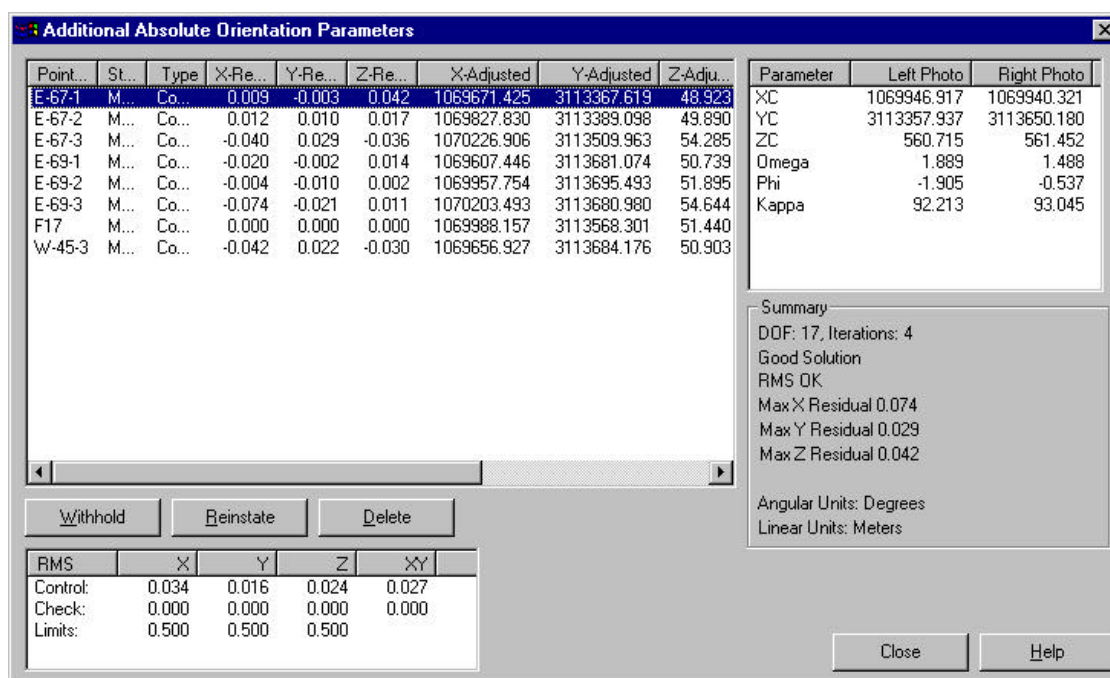


Figura 3.11 - Relatório final da orientação absoluta.

### c) Aerotriangulação

A aerotriangulação consiste em um método para estabelecer o controle planimétrico e altimétrico (horizontal e vertical) do modelo, através das relações geométricas entre fotografias aéreas e pontos de terreno. Detalhes sobre o processo de aerotriangulação podem ser encontrados em Mayr (1995), Gülch (1994) e Jaakkola e Sarjakoski (1994).

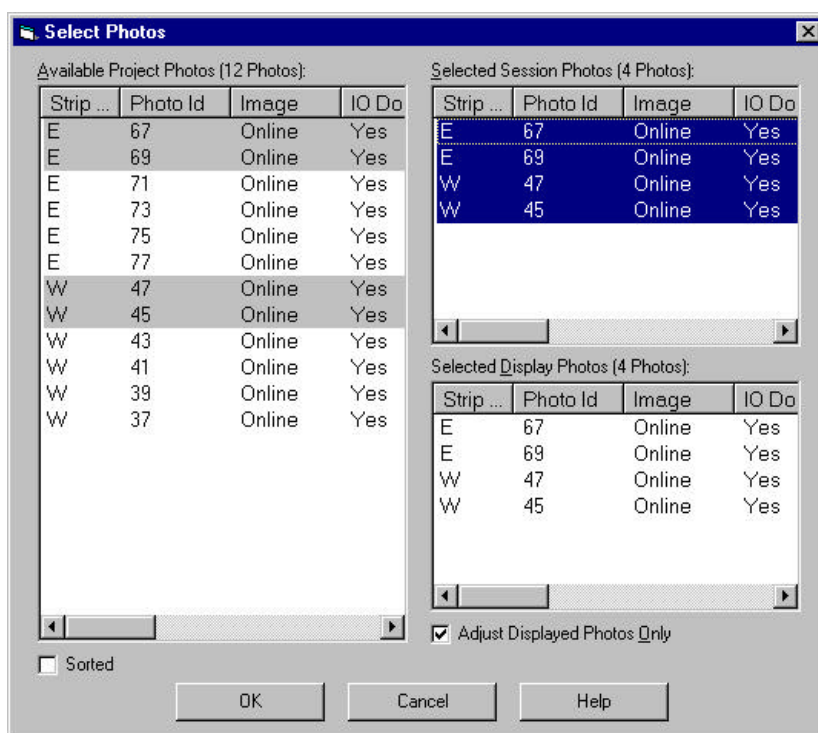
Assim, na concepção do sistema ImageStation para se calcular a aerotriangulação foi necessário primeiro executar o comando *Multiphoto* - *Multifoto* e posteriormente o *Phototriangulation* - *Fototriangulação*.

### **c.1) Comando Multifoto**

Este comando foi usado para a coleta dos pontos entre fotos que não constituíram pares estereoscópicos, porém possuíam alguma área de sobreposição. Com o uso deste recurso foi possível a manipulação de fotos de diferentes faixas e consequentemente a medição de pontos de passagem entre faixas (*Tie points*).

Além disso, permitiu a seleção da quantidade de fotos correspondente a determinado ponto, estando limitada apenas ao tamanho do *display*, visto que foram abertas tantas janelas com fotos quantas fossem possíveis.

Optou-se por fazer esta leitura manualmente, o software somente identificou nas “n” fotos a área próxima ao ponto de interesse e então permitiu ao usuário realizar a leitura das coordenadas dos pontos nas fotos correspondentes. A Figura 3.12 corresponde ao processo de execução desta tarefa.



**Figura 3.12 -** Seleção das fotos que farão parte do comando Multifoto.

### c.2) Comando Fototriangulação

Para realizar a aerotriangulação de fato no módulo ISDM utilizou-se dos recursos do **Photo T**, este software apresenta-se como sendo similar ao **PAT B**, entretanto com algumas diferenças conforme apresentado no Quadro 3.7.

**Quadro 3.7 –** Relação entre o software de ajustamento Photo T e PAT B

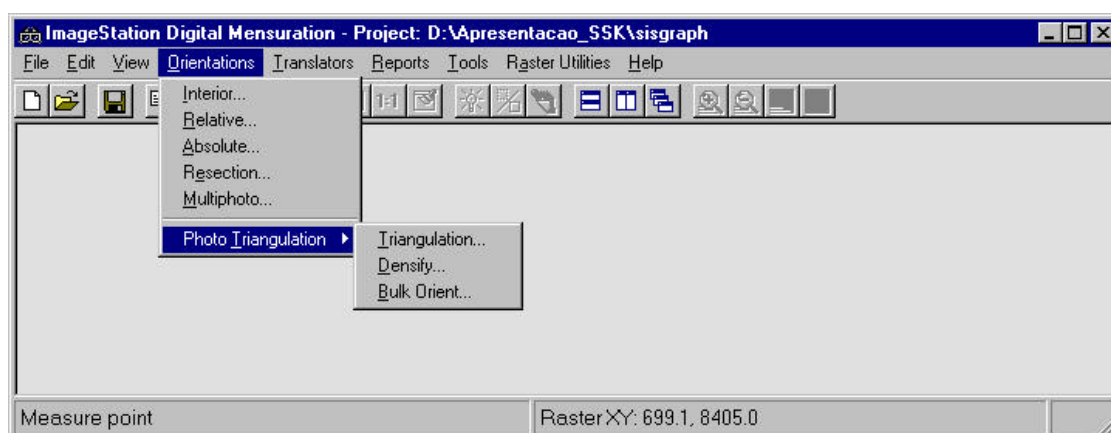
<b>Photo T</b>	<b>Pat B</b>
Requerimentos de pontos de controle são idênticos ao Pat B	Idem
Nomenclatura dos pontos com possibilidade de utilizar caracteres alfanuméricos e numéricos (Faixa-Foto-Numero).	Permite somente a utilização de caracteres numéricos/inteiros.
Número ilimitado de câmeras.	Utiliza somente 9 câmeras.
Definição de peso e desvio padrão com valores definidos para cada ponto.	Definição de peso por grupo de pontos (Máximo nove grupos).
Totalmente <i>on-line</i> (Interativo). Os dados de entrada são gerados automaticamente pelo produto e o	Processo <i>off-line</i> , ou seja, deve-se criar um arquivo com os dados de entrada em ASCII e submeter o

<p>resultado é automaticamente incorporado ao projeto.</p> <p>Permite triangular modelos sobre mesma faixa, entre faixas, ou mesmo sub-blocos antes do processamento final de todo o bloco.</p>	<p>mesmo ao processamento que irá criar outro arquivo com os dados de saída que deve ser importado para ser utilizado.</p> <p>Não possui esta possibilidade.</p>
<p>Possibilidade de esconder faixas, fotos e pontos (<i>Withhold</i>, <i>Reinstate</i> e <i>Delete</i>) da estatística e dos cálculos com cálculo automático.</p>	<p>Não possui esta possibilidade.</p>
<p>Processamento de um bloco de 450 fotos em 30-40 minutos.</p>	<p>Mesmo bloco em 15-20 minutos.</p>

O **Photo T** permitiu não somente o ajustamento de faixas como também o ajuste do bloco. Neste caso a distribuição dos pontos de controle foi definido da mesma maneira que nas faixas, ou seja, pares de pontos no início, no meio e no final das faixas que formaram o bloco (faixa 2 e faixa 3). Para o processamento deste cálculo o comando pertinente fez uso de dois tipos de pontos de controle: pontos de controle de campo e pontos de passagem.

Assim o software **Photo T**, conforme mostrado na Figura 3.13, trabalhou seguindo três fases, sendo estas definidas como:

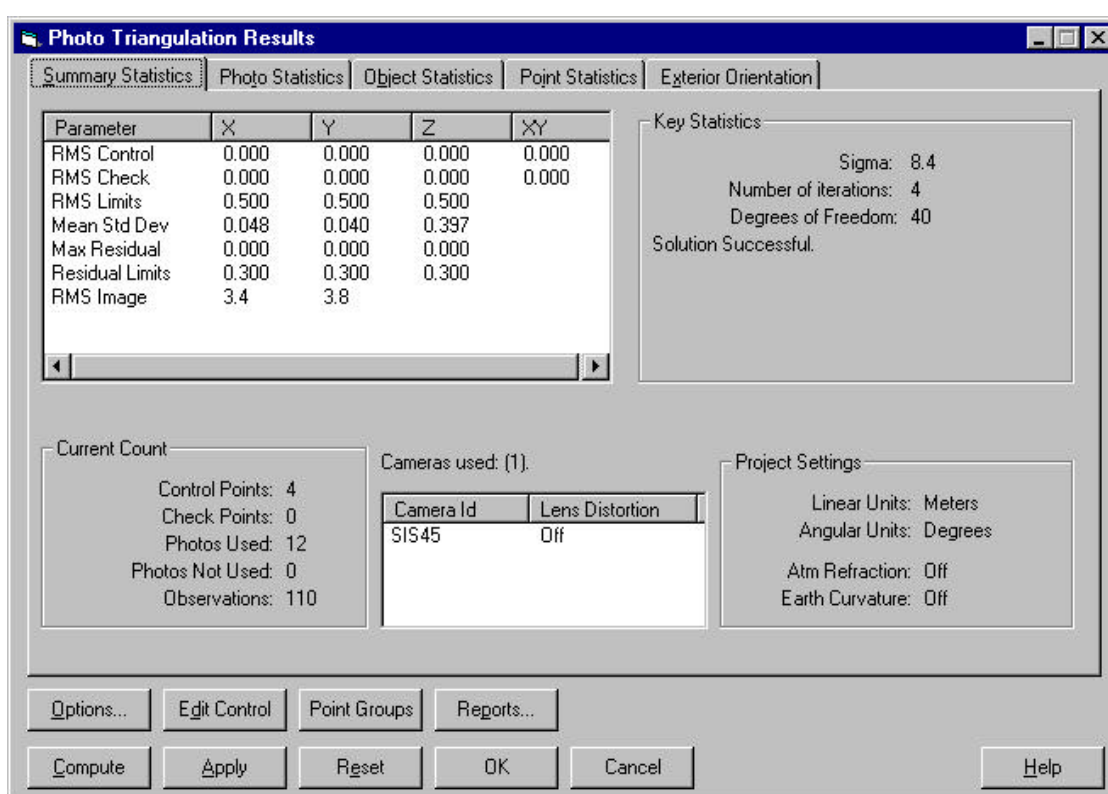
- ?? Cálculo de Parâmetros (Triangulation);
- ?? Densificação (Densify);
- ?? Carregamento de Dados (Bulk Update).





### 1.1.4.3 FIGURA 3.13 – PROCESSO PARA EXECUÇÃO DA AEROTRIANGULAÇÃO.

Após o cálculo da triangulação foi possível analisar e editar os resultados, parâmetros e estatísticas através das cinco páginas de dados do Photo T. Esta situação torna-se melhor representada através da Figura 3.14, sendo a primeira página apresentada o *Summary Statistics*. Através desta página apresentam-se os parâmetros estatísticos gerais do resultado do processo, os quais foram analisados e aprovados, mas somente após uma série de ajustes. O resultado final do ajustamento é apresentado no Anexo A.



**Figura 3.14 – Relatório estatístico da aerotriangulação**

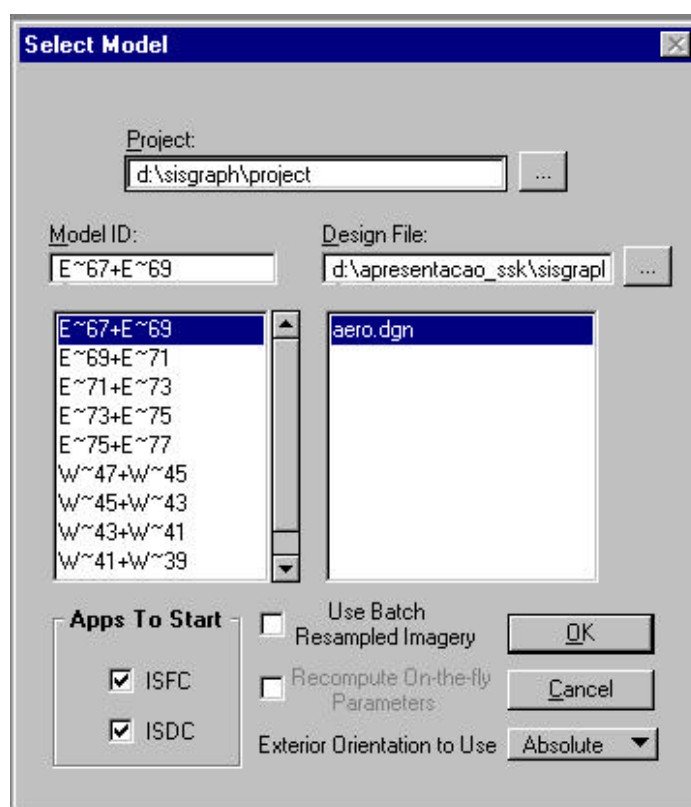
**Etapa 3.3 (E<sub>3.3</sub>) - ImageStation Stereo Display (ISSD)** - Este módulo forneceu o ambiente gráfico necessário para a execução do trabalho de restituição através de um conjunto de ferramentas, permitindo assim a definição de feições, digitalização tridimensional e edição. Para definir o ambiente fotogramétrico digital, bem como o processo para aquisição das imagens 3D, recomenda-se a leitura de Case (1982), Ackermann (1991) e Sarjakoski (1981).

O ISSD trabalhou em conjunto com o produto *ImageStation Feature Collection (ISFC)* e utilizou os modelos fotogramétricos gerados pelo produto *ImageStation Digital Mensuration (ISDM)*.

O ambiente gráfico do ISSD apresentou além das opções convencionais de visualização um tipo especial de vista denominada *Stereo*. Nesta vista foi possível utilizar comandos específicos para manipulação e digitalização.

Para acessar o ISSD bastou seguir a sequência:

START > PROGRAMS > IMAGESTATION STEREO DISPLAY > IMAGESTATION STEREO DISPLAY. Este comando acionou a tela apresentada na Figura 3.15.



**Figura 3.15** – Definição dos modelo estereoscópios.

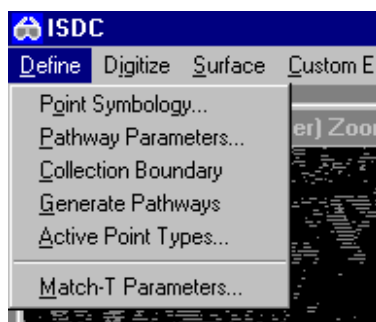
**Etapas 3.4 (E<sub>3.4</sub>) - ImageStation DTM Collection (ISDC)** – Através deste módulo o sistema ImageStation permitiu a geração e modificação semi automática do MDT – Modelo Digital do Terreno. Krzystek (1991), comenta detalhadamente o processo de geração do Modelo Digital do Terreno em ambiente fotogramétrico digital.

A utilização deste módulo somente foi possível após ter realizado as orientações dos modelos estereoscópicos e atribuído a eles o sistema de referência – UTM – Universal Transverso de Mercator.

Neste momento o módulo ISDC interagiu com o MicroStation automaticamente, estando disponível todos os comando do software CAD – Computer Aided Design, para iniciar a coleta de dados planialtimétricos.

Entretanto, primeiramente foi necessário gerar os arquivos “dgn” - no software MicroStation sem nenhuma informação. Estes arquivos correspondiam a cada modelo estereoscópico formado anteriormente, logo após iniciou-se a configuração do ISDC viabilizando dessa forma a captura dos dados tridimensionais, que posteriormente foram usados como base para a geração do modelo digital do terreno.

O primeiro passo no processo de configuração do ISDC foi a definição do *Pathway*, conforme mostrado na Figura 3.16.



**Figura 3.16 – Definição do Pathway no ISDC.**

#### 1.1.4.4

Na definição/configuração do Pathway foram considerados parâmetros relativos ao intervalo dos pontos a serem lidos na malha de geração do modelo digital do terreno e áreas escuras. Este espaçamento (grid) foi considerado com uma equidistância de 15m no alinhamento ao longo da direção de leitura, em algumas áreas obscuras os valores foram desconsiderados, ou seja não foram lidos, uma vez que foi usado o comando “skip” pular.

A Figura 3.17 mostra os itens que foram configurados para se executar a leitura das coordenadas tridimensionais do modelo digital do terreno. Após a leitura das coordenadas pode-se verificar um pequeno relatório estatístico da quantidade pontos coletados, não coletados e pulados na área de interesse.

**Pathway Parameters**

Active Pathway Number: 1 Delete Pathway

**Profiling Parameters**

Point Distance Along Profile: 50.00 ft  
 Profile Spacing: 50.00 ft  
 Tolerance Off Profile: 50.00 ft  
 Profile Azimuth: 214.78 degrees  
 Profile Pattern: Combing  
 Screen Mode: Off  
 Screen Mode View Num: View 1  
 Add Point Mode: Off  
 Drive Elevation: From Last Elevation  
Define Azimuth Graphically

**Pathway Point Statistics**

In Boundary	In Obscured Area	Mass Points	All Manual Points
Skipped 0	Skipped 0	Withheld 0	Skipped 0
Withheld 0	Withheld 0	Collected 0	Withheld 0
Collected 0	Collected 0	Total 0	Collected 0
Uncollected 0	Uncollected 0		Uncollected 0
Total 0	Total 0		Total 0

**Auto Generated Points**

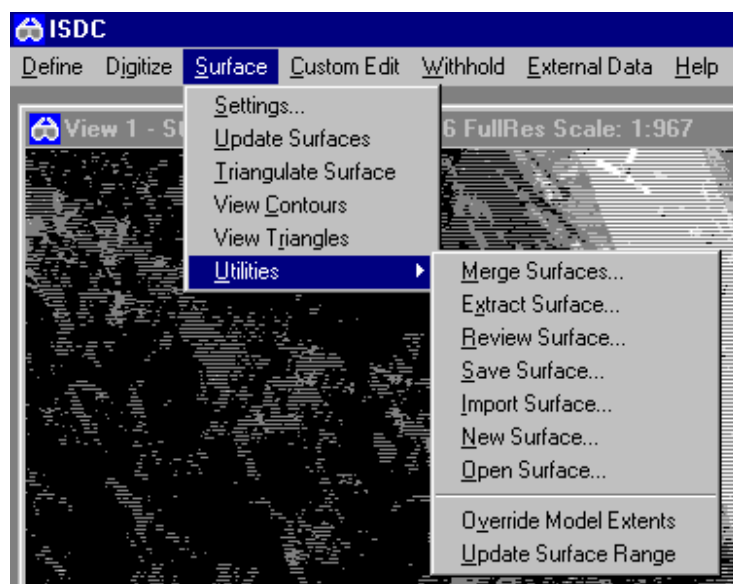
Grid Points 0	Number of Profiles 0
Low Redundancy 0	
Beyond Ht. Acc. Thresh. 0	
In Obscured Area 0	
Out Of Collection Bdy. 0	
Total 0	Total Number of Points of All Types 0

OK Apply Cancel

**Figura 3.17** – Configuração dos parâmetros do *Pathway*.

No meio digital o processo de preparação, ou seja geração do GRID, foi realizado de forma automatizada, tornando-o consideravelmente simples. Pois com o próprio “mouse” do sistema ImageStation foi possível gerenciar, através do recurso de estereoscopia, a tomada das coordenadas “Z”. Porém, o trabalho exigiu do operador uma certa experiência, uma vez que foi necessário identificar com acuidade a marca flutuante e consequentemente a sua tangência ao terreno.

Após a leitura dos pontos tridimensionais, definido pela malha (X,Y) e marca flutuante (Z), gerou-se a superfície do terreno.



**Figura 3.18** – Geração da superfície do terreno

Na prática a superfície do terreno foi gerada seguindo as etapas conforme mostrado na Figura 3.18, dessa forma inicialmente foi configurado o maior tamanho de um lado da triangulação e depois executado o comando *“triangulate surface”*.

#### **Etapas 4 (E<sub>4</sub>) – Manipulação dos produtos cartográficos nos softwares CAD e SPRING 3.4**

##### **Etapas 4.1 (E<sub>4.1</sub>) – Manipulação do produto cartográfico de 1990 no software CAD**

O produto cartográfico citado nesta etapa do trabalho refere-se a restituição analítica na escala 1:2000, realizada para o Município de São José dos Pinhais, a qual foi gentilmente cedida pela empresa Aerodata Engenharia de Aerolevantamentos S.A. – Curitiba – PR, visando a execução desta pesquisa.

Tendo disponível o mapa do município em meio digital datado de 1990, foi realizado por meio do software MicroStation 95 a primeira edição do produto. Neste processo foram filtradas algumas informações, ou seja, eliminados os níveis de informações sem interesse ao projeto, bem como foi separada a área de estudo. As únicas feições de interesse que permaneceram foram as curvas de nível e os pontos cotados. Posteriormente a esta atividade o arquivo no

formato DGN foi exportado para o formato DXF e importado no software AutoCad 2000, para que novamente fosse conferido as altitudes dos pontos cotados e verificada a edição das curvas de nível.

Por fim, o arquivo contendo as informações referentes as coordenadas tridimensionais das feições de interesse foi importado para o software SPRING 3.4, objetivando a geração do MDT – Modelo Digital do Terreno, da área de estudo do Município de São José dos Pinhais - ano 1990. Porém, antes de concretizar a realização no MDT, alguns passos foram obrigatoriamente seguidos. Entre os passos a serem seguidos houve a necessidade de gerar uma grade TIN – *Triangular Irregular Network* e posteriormente uma grade REC – *Rectangular* a partir do arquivo DXF no Software SPRING 3.4. Dessa forma, a geração da superfície, ou seja, da malha regular contendo as coordenadas tridimensionais do terreno permitiu gerar o Modelo Digital do Terreno ou também conhecido MNT – Modelo Numérico do Terreno.

#### **Etapa 4.2 (E<sub>4.2</sub>) – Manipulação do produto cartográfico de 1999 no software CAD**

As tarefas executadas nesta etapa, seguem o mesmo procedimento da etapa 4.1, entretanto tendo como dado de entrada uma nova restituição, ou seja um produto cartográfico (mapa na escala 1:2000) em meio digital datado de 1999. Este produto cartográfico também foi cedido pela empresa Aerodata Engenharia de Aerolevantamentos S.A. – Curitiba – PR.

Da mesma forma com que os dados de 1990 foram trabalhados nos softwares MicroStation 95, AutoCad 2000 e SPRING 3.4, os dados provenientes da restituição de 1999 também foram, visando a geração do MNT – Modelo Numérico do Terreno e da superfície tridimensional para a mesma área de estudo.

#### **Etapa 4.3 (E<sub>4.3</sub>) – Manipulação do produto cartográfico de 2000 proveniente da Aerotriangulação**

O produto cartográfico manipulado nesta etapa foi proveniente do resultado intermediário obtido no módulo do software ImageStation Digital Mensuration (ISDM) após a execução da *Etapa 3.2 (E<sub>3.2</sub>)* - aerotriangulação.

Com a realização da aerotriangulação, foram gerados por volta de 200 pontos de enlace entre os 6 modelos fotogramétricos existentes nas faixas 2 e 3. Terminada a aerotriangulação o

software ImageStation forneceu um relatório estatístico contendo as coordenadas tridimensionais (X, Y e Z) de todos os pontos de enlace.

Esses pontos contendo a extensão DAT foram importados para o Software Surfer32 e exportados para o formato DXF, dessa forma foi possível importá-los no AutoCad 2000 e verificar a altimetria dos pontos cotados. Executada estas tarefas o arquivo DXF foi utilizado como dado de entrada no software SPRING 3.4 – objetivando gerar o MNT – Modelo Numérico do Terreno, bem como a superfície tridimensional.

#### **Etapa 4.4 (E<sub>4.4</sub>) – Manipulação do produto cartográfico de 2000 proveniente ImageStation DTM Collector (ISDC)**

Após a utilização do sistema fotogramétrico digital, disponível através dos módulos (softwares) do ImageStation – obteve-se como resultado um arquivo no software MicroStation contendo uma malha de pontos e suas respectivas coordenadas tridimensionais.

Essas coordenadas foram obtidas conforme descrito na *Etapa 3.4 (E<sub>3.4</sub>) - ImageStation DTM Collection (ISDC)*, entretanto foram adquiridos mais ou menos 25.000 pontos para o conjunto de pares estereoscópico (2~8 – 2~7, 2~7 – 2~6, 2~6 – 2~5), os quais fundamentaram a geração da superfície tridimensional da área de estudo para o ano de 2000, tendo como dados de entrada informações geradas através da fotogrametria digital.

Através deste arquivo foi possível importá-lo para o software AutoCad 2000 e conferir se as altitudes dos pontos cotados correspondiam de fato. Posteriormente a esta tarefa os dados foram inseridos no software SPRING 3.4 para geração do MNT, como descrito nas etapas 4.1, 4.2 e 4.3.

#### **Etapa 5 (E<sub>5</sub>) – Leitura das coordenadas tridimensionais (X, Y, Z)**

Depois de realizado um estudo prévio sobre a quantidade de dados, ou seja, pontos tridimensionais necessários à análise estatística, definiu-se, tomando por base o estudo realizado por Oliveira (1996), que 80 pontos amostrais abrangendo a área de 5.700.000m<sup>2</sup> seria suficiente para caracterizar estatisticamente a análise.

O primeiro passo, foi verificar a forma de leitura e aquisição dessas coordenadas, portanto a medida adotada a priori foi a leitura das coordenadas via aquisição de tela, entretanto o

software SPRING versão 3.4 permitia esta tarefa atingindo a precisão até o decímetro, conseqüentemente não satisfazendo a necessidade de precisão requerida para o trabalho.

Assim, optou-se por gerar automaticamente uma saída das coordenadas, considerando pelo menos a resolução até a ordem do milímetro, através da geração de um arquivo ASCII. Executando essa saída do arquivo (malha 3D de 2mx2m) no formato ASCII das coordenadas (X, Y, Z), percebeu-se que o tamanho do arquivo chegou próximo de 230Mb. Dessa forma, executando a abertura desse arquivo no software *Word*, imediatamente procedeu-se ao seu cancelamento quando percebeu-se que o arquivo havia atingido uma paginação superior a 400. Em função, do tamanho de arquivo e da dificuldade de manipulação dos dados, recorreu-se a equipe técnica do INPE – Instituto Nacional de Estudos Espaciais.

A informação se confirmou, na versão 3.4 o SPRING, via tela não era possível realizar a leitura das coordenadas com a precisão milimétrica, somente torna-se possível por meio da exportação do arquivo via formato ASCII. A sugestão dos técnicos mediante o problema foi de esperar a saída da nova versão do software SPRING, ou seja a 3.5.

Como a alternativa da espera encontrava-se fora de cogitação, decidiu-se abandonar o software SPRING, mesmo tendo adquirido os resultados gráficos, e passou-se a trabalhar com o Software GeoTerrain da Empresa Geopak, a qual é filiada a empresa Bentley Systems Incorporated. A plataforma básica de uso do Software Geoterrain está condicionada ao software gráfico MicroStation, apresentando portanto grande facilidade na manipulação dos dados, bem como na leitura das coordenadas 3D.

## **Etapas 6 (E<sub>6</sub>) – Utilização do Software GeoTerrain**

Conforme o site [http://www.geoconvergencia.com/pt/PRODS/1298prods\\_pt.html](http://www.geoconvergencia.com/pt/PRODS/1298prods_pt.html), o software GeoTerrain, da Geopak, é um programa completo para modelagem digital de terrenos em três dimensões e para análises de superfície em tempo real. Assim, ele se apresenta como ferramenta ideal à proposta do trabalho, uma vez que foi projetado para realizar modelagens triangulares e de malha quadriculada ou em rede. Deve-se considerar ainda que a flexibilidade do programa permitiu integrar informações de diversas fontes e utilizar uma variedade de técnicas de modelagem, portanto não houve qualquer restrição com a entrada dos dados provenientes do software AutoCAD.



Como o software geoterrain funciona na plataforma MicroStation, a primeira providência tomada foi a importação dos arquivos gráficos básicos, no formato DWG, para o formato DGN, conforme pode ser visto para a Figura 3.19, a qual representa os dados referente a 1990. Entretanto, deve-se considerar que houve um processo repetitivo de importação dos dados para os arquivos de restituição datados de 1999, 2000 e 2000 contendo os pontos da aerotriangulação.

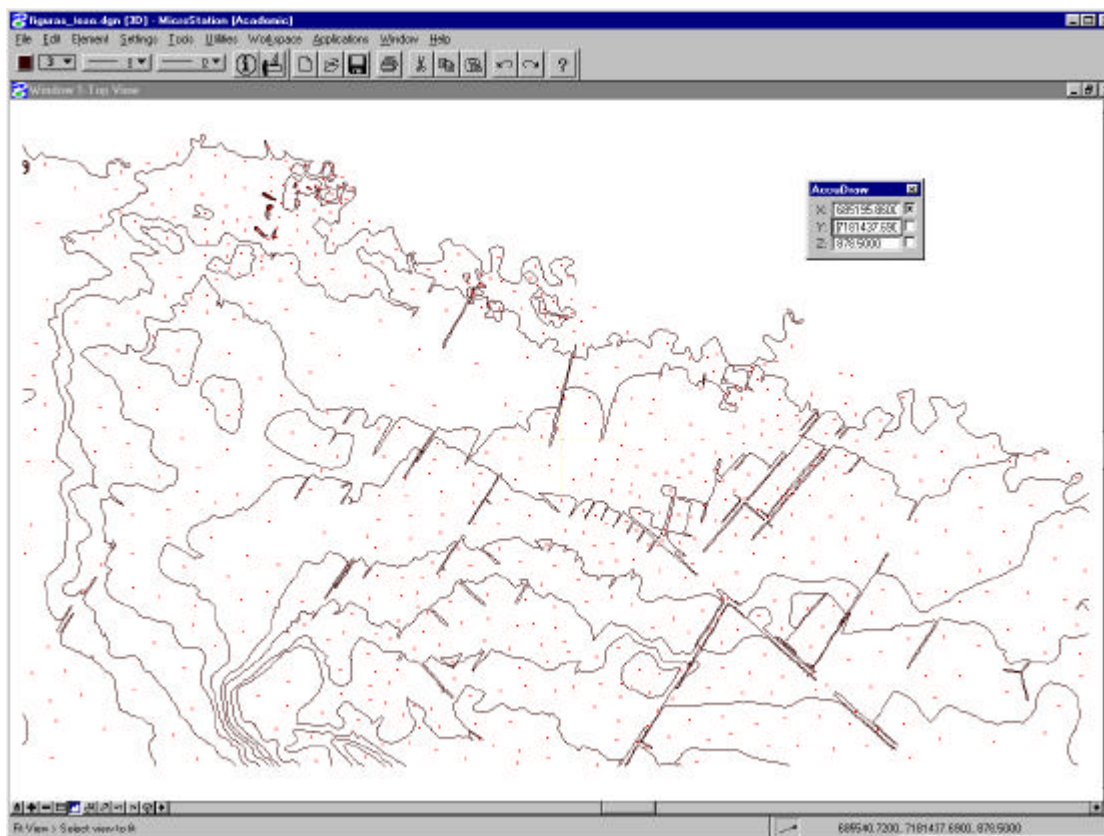
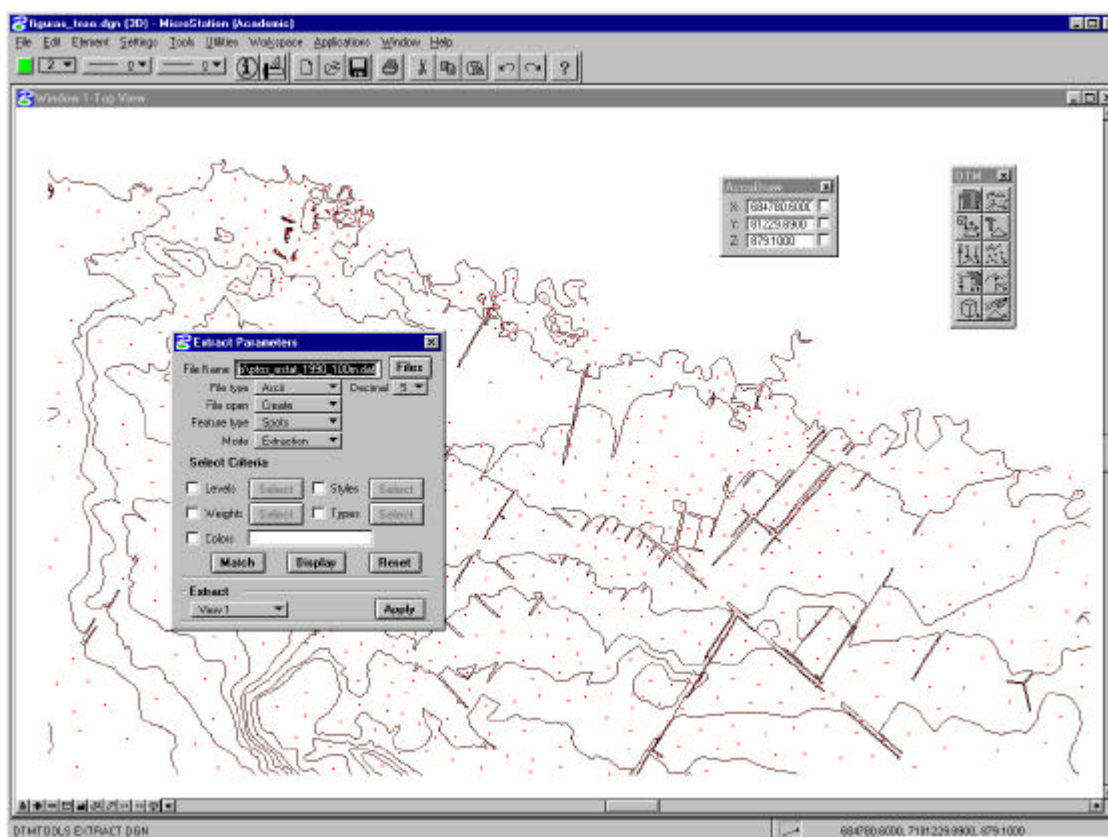


Figura 3.19 – Exemplo dos dados de entrada no MicroStation, base para a geração das diferentes malhas 3D.

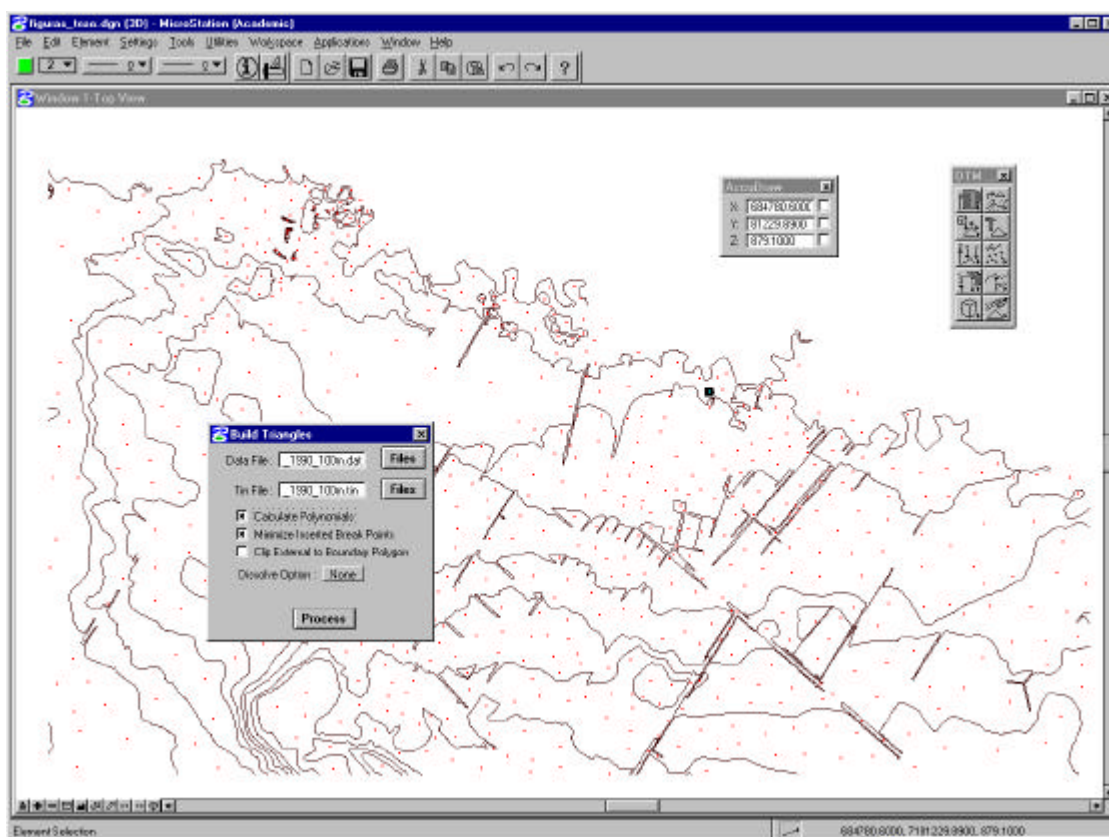


**Figura 3.20** – Configuração dos parâmetros para a geração do arquivo DAT.

Na Figura 3.20 pode-se observar que o módulo específico do GeoTerrain já foi acionado e que através da configuração, por meio da janela apresentada (*Extract Parameters*), configura-se os parâmetros do desenho que serão transformados num arquivo DAT, contendo as coordenadas (X, Y, Z) das as feições, ou seja pontos cotados e curvas de nível.

Deve-se atentar para a janela (*Extract Parameters*), pois ao lado da definição do tipo de arquivo há a possibilidade de configurar a precisão das coordenadas a serem adquiridas. No desenho que se encontra representado a configuração é zero, entretanto no processamento do trabalho foi usado por convenção para todos os dados de entrada, 5 casas após a virgula.

O próximo passo seguido na intenção de se gerar a malha 3D, foi a configuração dos parâmetros e respectiva transformação do arquivo DAT para o arquivo contendo dados TIN – Triangular Irregular Network. Dessa forma, processou-se o cálculo da rede triangular e consequentemente a geração da malha irregular.



**Figura 3.21** – Configuração dos parâmetros para a geração da malha TIN

Após a geração da malha triangular, realizou-se nova configuração e processamento dos dados, visando sua conversão numa malha retangular através do processo de interpolação pelo Método das Médias, exemplo apresentado nas Figuras 3.22 e 3.23. Além disso, para efeito de análise de acurácia foram definidas resoluções distintas para a malha. Portanto, para cada um dos quatro produtos cartográficos (restituição analítica de 1990, restituição analítica de 1999, restituição digital de 2000 e pontos aerotriangulados do produto de 2000), usados como fonte primária de entrada, foram geradas as seguintes malhas, conforme apresentado nas Tabelas 3.3 e 3.4:

**Tabela 3.3** – Resolução das grades retangulares para geração do modelo 3D

Resolução Malha Retangular (m)	Cor	Tamanho médio dos arquivos (Kb)
100	Vermelho	706

50	Azul Escuro	832
20	Azul Claro	1.573
10	Verde	4.205
5	Cinza	14.631

**Tabela 3.4** – Resolução das grades retangulares de 2m para geração do modelo 3D

<b>Resolução Malha Retangular (2m)</b>	<b>Cor</b>	<b>Tamanho médio dos arquivos (Kb)</b>
2a	Vermelho	19.824
2b	Laranja	2.4737
2c	Vermelho	24.945
2d	Laranja	25.304
2e	Vermelho	25.232
2f	Laranja	20.921

Deve-se esclarecer ainda que foi necessário um fatiamento do arquivo no momento do processamento da malha com resolução de 2m, isso em virtude do arquivo gráfico (DGN) no software Microstation não suportar o tamanho acima de 32Mb, ou seja, era feito o processamento mas as informações não eram gravadas.

Cabe salientar que o processamento das malhas com resolução de 2m, usando um equipamento (microcomputador) Pentium III com 256 Mb de memória RAM e 40Gb de espaço em disco, demorou cerca de 20 minutos no processamento para cada fatia. As outras malhas apresentaram um processamento rápido.

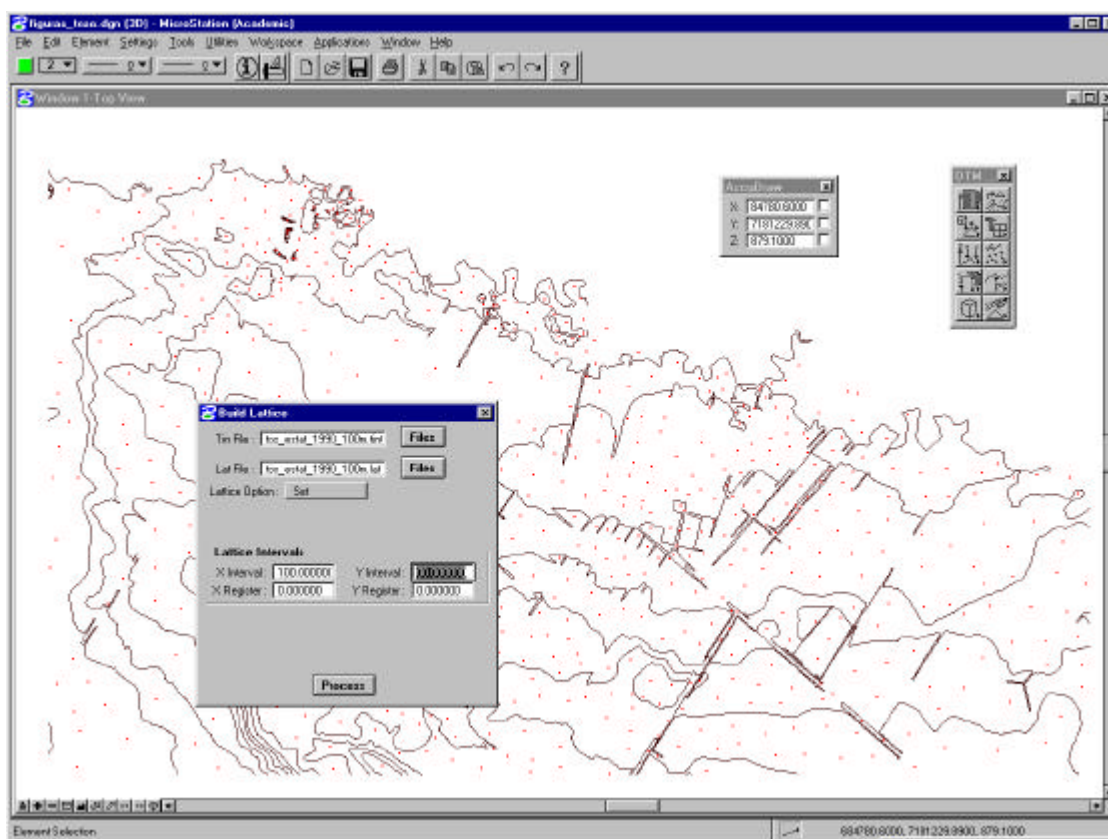


Figura 3.22 – Configuração da malha retangular com 100x100m.



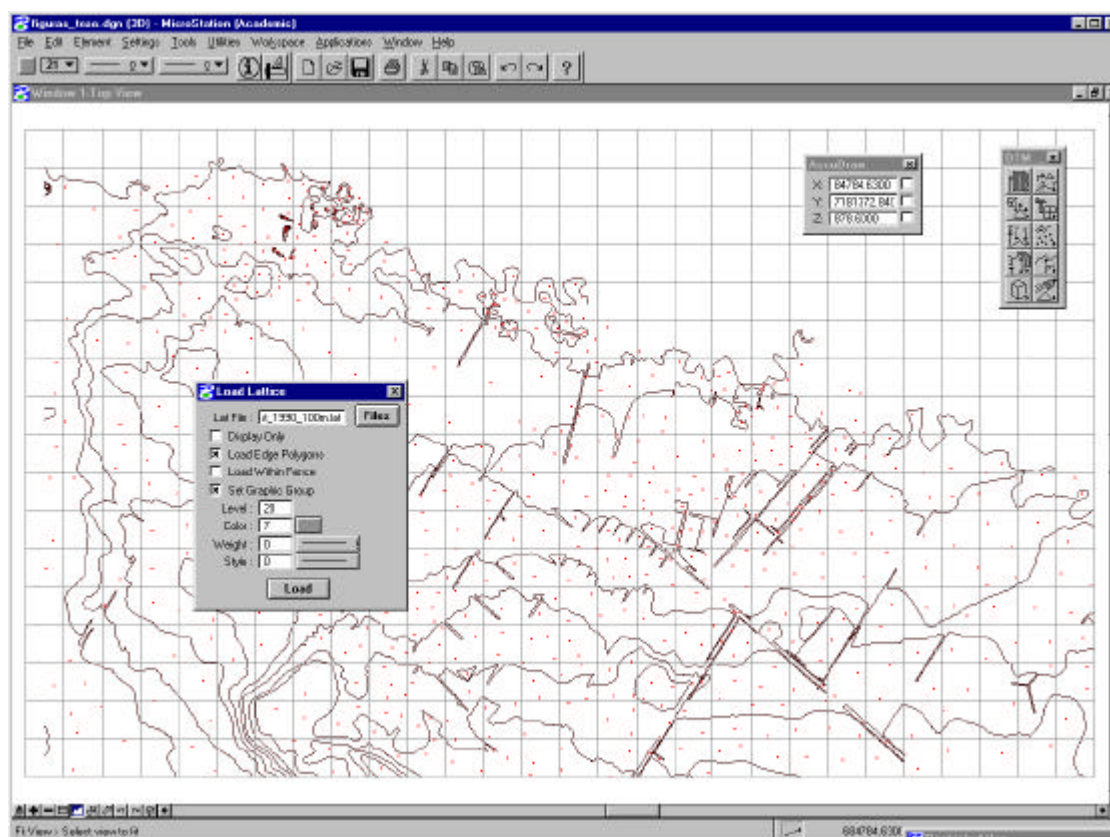
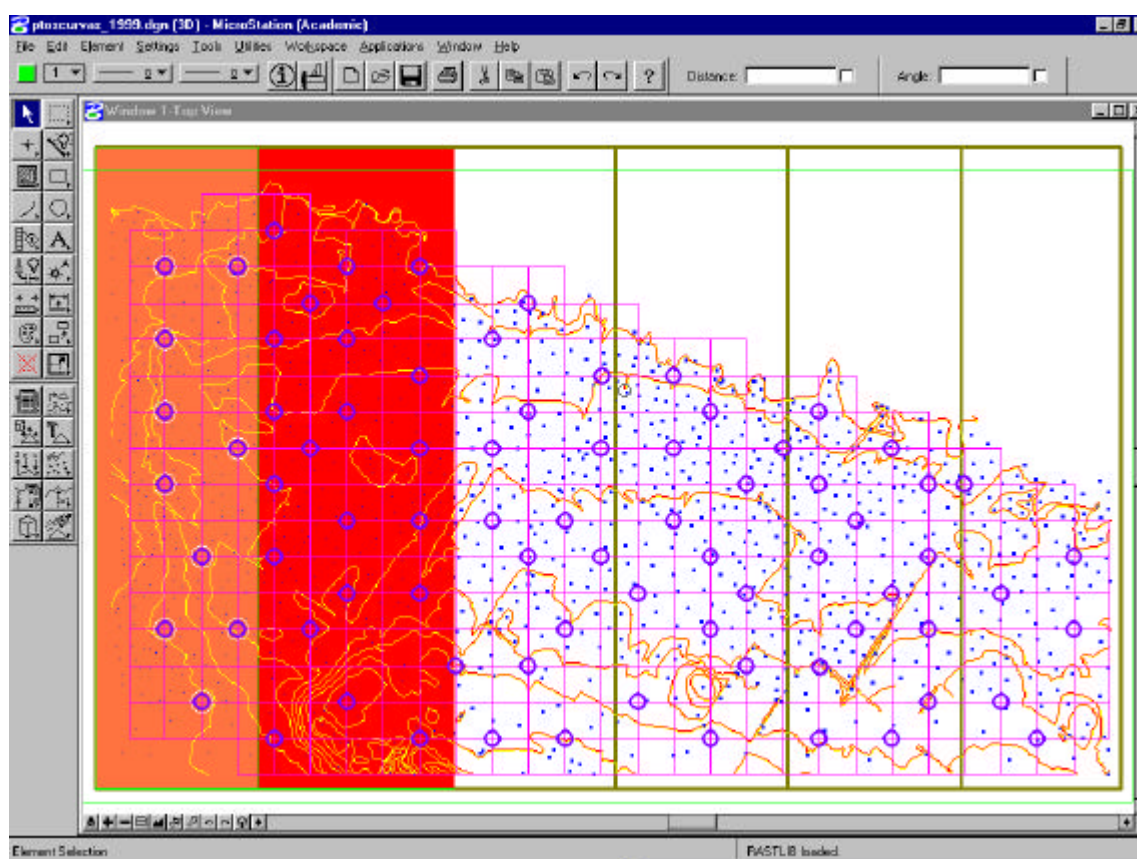


Figura 3.23 – Resultado após o processamento da malha retangular 100x100m.

Na Figura 3.23 fica caracterizada uma malha com resolução de 100x100m, entretanto, o

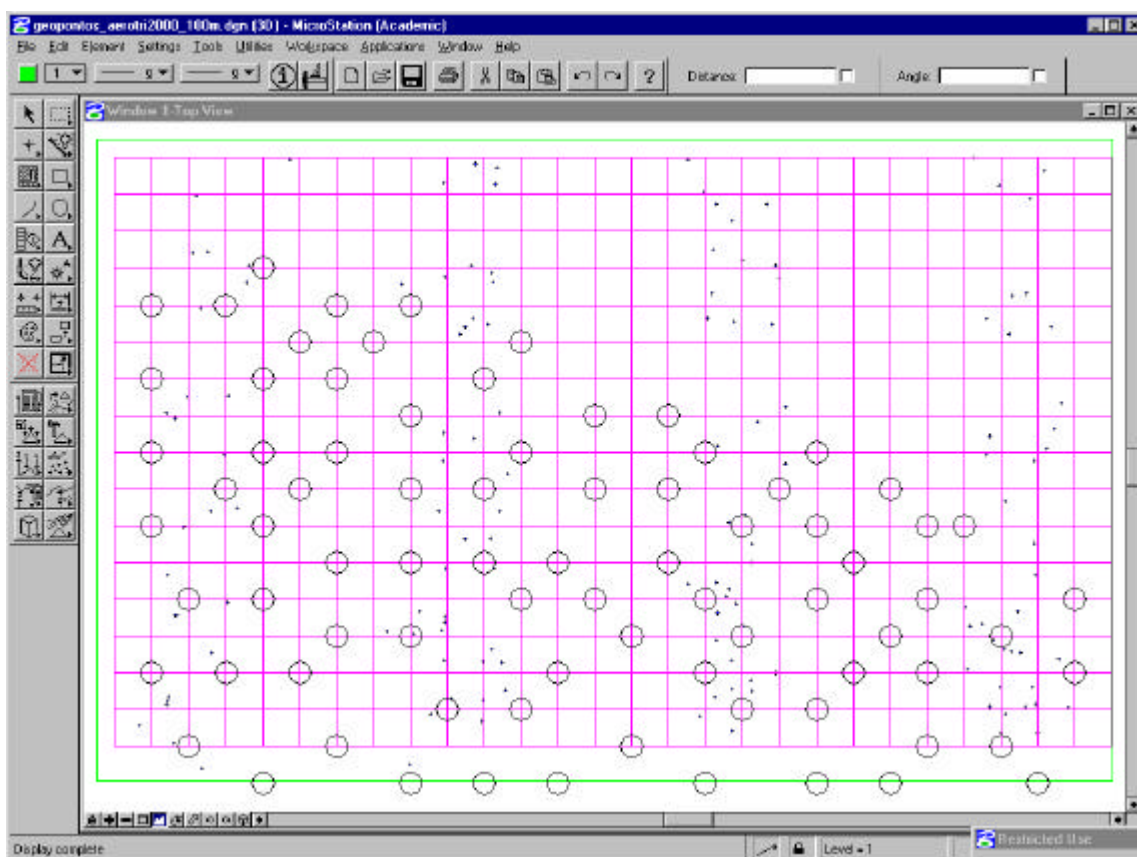


processo tornou-se repetitivo para todas as outras resoluções, conforme as Tabelas 3.3 e 3.4. Porém, para cada resolução de malha houve um adensamento específico e no caso extremo definido neste trabalho o processo aconteceu para a resolução de 2x2m. Assim, na Figura 3.24 fica representado o fatiamento do arquivo e a geração da malha para cada fatia.

**Figura 3.24** – Fatiamento executado para a geração da malha retangular com resolução de 2x2m.

Depois de calculadas todas as malhas nas suas seis resoluções, para todos os quatro produtos cartográficos, gerou-se um total de 24 arquivos gráficos contendo informações de interesse.

O passo seguinte foi a geração de um arquivo padrão que contemplasse a leitura de 80 pontos bem distribuídos espacialmente na área de interesse, conforme apresentado na Figura 3.25. Pois, a partir deste arquivo padrão foi possível anexar os outros 24 arquivos contendo suas respectivas malhas e processar a leitura das coordenadas de interesse.



**Figura 3.25** – Arquivo padrão usado como referência na aquisição das coordenadas 3D das 24 malhas retangulares.

Tendo sido anexado este arquivo padrão a cada um dos produtos cartográficos, contendo sua respectiva malha, executou-se a geração de novos círculos sobrepostos ao arquivo padrão, os quais se apresentavam em um novo nível de informação no software MicroStation, assim os 80 novos pontos neste produtos tornaram-se redesenhados.

Portanto, novamente utilizou-se o recurso do módulo geoterrain na geração do arquivo ASCII, conforme apresentado na Figura 3.20 e gerou-se um novo arquivo correspondente a cada produto, contendo as coordenadas X, Y e Z dos 80 pontos.

### **Etapas 7 (E<sub>7</sub>) – Aplicação da Geoestatística nos pontos amostrais**

Nesta etapa a primeira tarefa executada foi a formatação dos dados de forma que possibilitasse a sua entrada no software Minitab 13.0, portanto os arquivos com extensão txt e xls foram configurados para o formato dat. Neste formato ainda houve a preocupação de escrever o cabeçalho do arquivo, contendo uma “string” que permitiu a identificação dos dados do arquivo, bem como as variáveis que correspondiam cada coluna (X, Y, Z) e o número de colunas (3).

Tendo formatado os dados, procedeu-se ao uso do software Minitab 13.0 propriamente dito, o qual permitiu a cada um dos 24 arquivos analisar a normalidade existente nos dados amostrais correspondentes a coordenada “Z”. Essa verificação foi feita usando-se basicamente três testes Anderson-Darling, Shapiro Wilk e Jones, considerando sempre o intervalo de confiança como sendo de 95%. O processo de entrada e tabulação dos dados amostrais ocorreu através do software Minitab, logo depois foi executado os testes de Anderson-Darling e Shapiro Wilk. Caso os 24 dados de entrada contendo em média as 80 amostras não passassem nestes dois testes, foi necessário realizar um terceiro teste, conhecido como “Teste de Jones” (Jones, 1969), o qual por meio de uma tabela contendo dados amostrais foi analisado os parâmetros que caracterizam a distribuição normal que são os coeficientes de assimetria e curtose para cada um dos produtos.

Portanto, inicialmente foram realizada a análise exploratória de dados sem levar em consideração a posição de cada unidade amostral, com o intuito de identificar características,



como homogeneidade, valores discrepantes, tendência dos dados e normalidade através dos software estatístico MINITAB 13.0.

Tendo grande parte dos dados atendido aos testes de normalidade, ou seja de dependência espacial, estes imediatamente foram utilizados nos módulos do software de análise geoestatística chamado *Variowin Prevar2D*, *Variowin Vario2pd* e finalmente *Variowin Model*, conforme apresentados nas Figuras 3.26, 3.27 e 3.28.

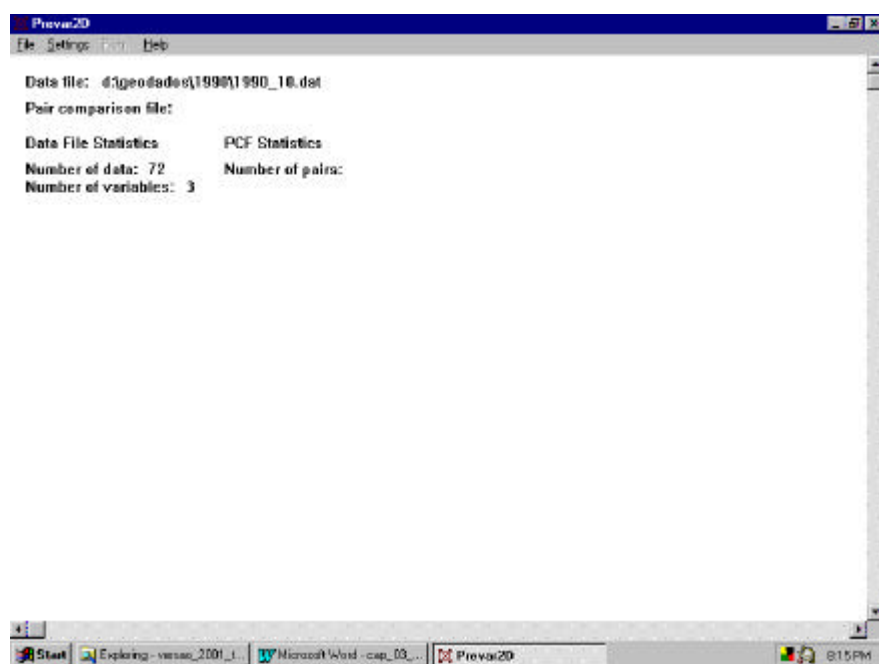


Figura 3.26 – Processo de geração dos pares através do software Prevar2D.

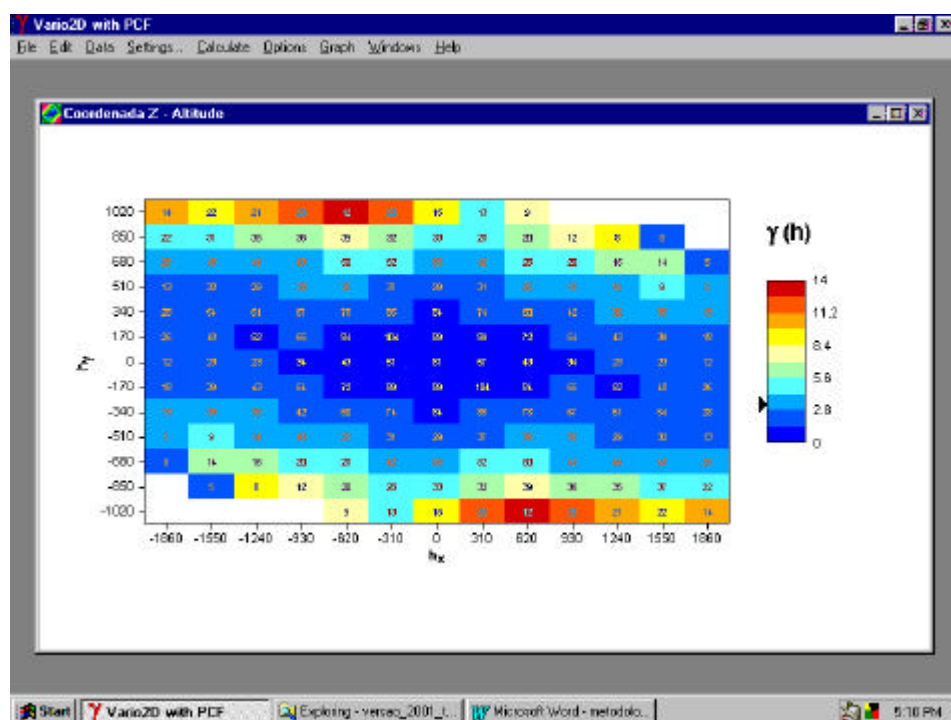
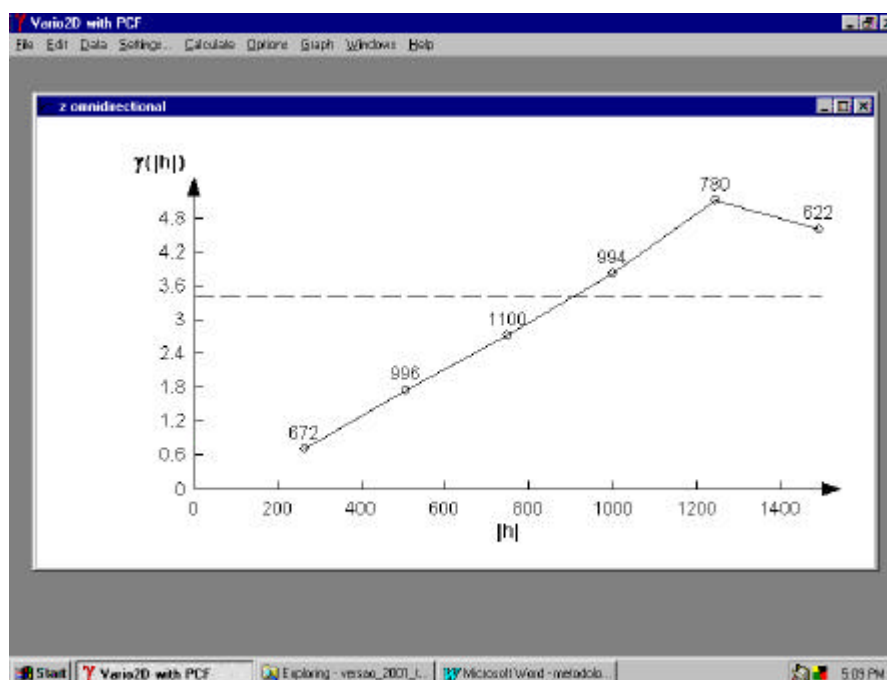


Figura 3.27 – Calculo da Superfície Variograma.



**Figura 3.28** – Determinação do modelo experimental matemático do variograma.

Feitas as análises preliminares, os dados foram analisados através da geoestatística visando identificar a estrutura de variabilidade espacial de cada variável em estudo, através dos softwares VARIOWIN 2.2 (Panantier, 1996) e IDRISI 32 (Eastman, 1999). Para fazer interpolação dos dados não amostrados através da técnica de krigagem. Foi utilizado o software SURFER 6.0 (Golden Software, 1997).

## **CAPÍTULO 4**

### **Análises dos Resultados após geração dos MDT's**

---

Os resultados obtidos, mostrados e discutidos na forma de análises apresentam-se neste capítulo hierarquizados e/ou organizados conforme os quatro produtos de entrada, sendo eles a) arquivo gráfico contendo as coordenadas tridimensionais, obtido após a execução da aerotriangulação realizada no sistema Intergraph - ImageStation com dados cartográficos datados de 2000 (aproximadamente 200 pontos contendo as coordenadas 3D), usando-se os mesmos dados apresenta-se o modelo digital do terreno gerado pelo software SPRING 3.4; b) dados provenientes do produto cartográfico de 2000 em meio digital (25.000 pontos contendo as coordenadas 3D), adquiridos através do uso do sistema Intergraph – ImageStation, logo após apresenta-se o

**modelo digital do terreno gerado através do software SPRING 3.4; c) dados cartográficos proveniente da restituição de 1999 e o MNT (Modelo Numérico do Terreno) gerado no software SPRING 3.4; d) dados provenientes da restituição de 1990 e a geração do MNT, usando-se o software SPRING 3.4.**

**Por fim, aborda-se o método geoestatístico aplicado nos produtos cartográficos, através dos pontos 3D amostrais, os quais possibilitaram a análise de qualidade geométrica entre si.**

#### **4.1 - CARTOGRAFIA DIGITAL – PRODUTO CARTOGRÁFICO - 2000**

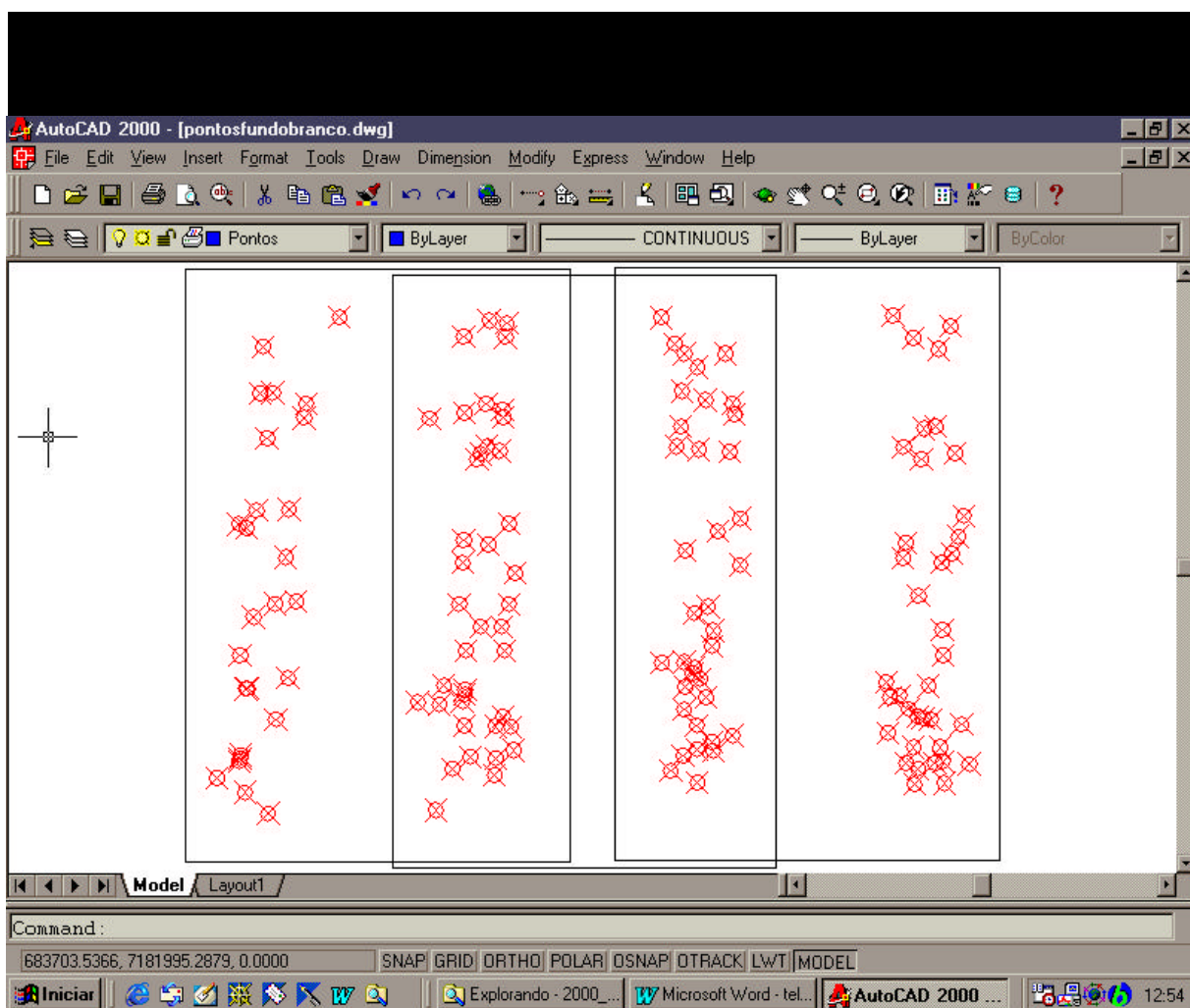
##### **4.1.1 – RESULTADOS ADQUIRIDOS A PARTIR DO PRODUTO CARTOGRÁFICO DE 2000, ATRAVÉS DO USO DO SOFTWARE IMAGESTATION**

###### **a) Uso das coordenadas tridimensionais provenientes da aerotriangulação**

O primeiro resultado obtido durante a execução da fotogrametria digital foi o relatório do ajustamento apresentado pelo sistema ImageStation, referente a área de estudos em São José dos Pinhais - PR. Deve-se considerar que este resultado compreendeu todo o bloco fotogramétrico, ou seja uma área relativa que abrange oito fotos aéreas, conforme apresentado nas Figuras 3.4 e 3.5 do capítulo 3. O relatório final após o ajustamento encontra-se listado na íntegra no Anexo A, possui em torno de 200 pontos triangulados, estando relacionadas as suas coordenadas tridimensionais. A representação gráfica dos pontos 3D após a aerotriangulação, apresentam-se na Figura 4.1. A partir desses dados primários, através de interpolação gerou-se uma grade TIN – *Triangular Irregular Network*, e posteriormente gerou-se a grade REC – *Rectangular Network* através do software SPRING 3.4. Dessa forma, as coordenadas tridimensionais da área de interesse foram homogeneamente calculadas por um processo de

interpolação, visando gerar uma superfície fidedigna à realidade terrestre, conhecida como MNT – modelo Numérico do Terreno, conforme apresentado na Figura 4.2.

**Figura 4.1-** Coordenadas provenientes da aerotriangulação digital, usadas como fonte base na geração do MNT.



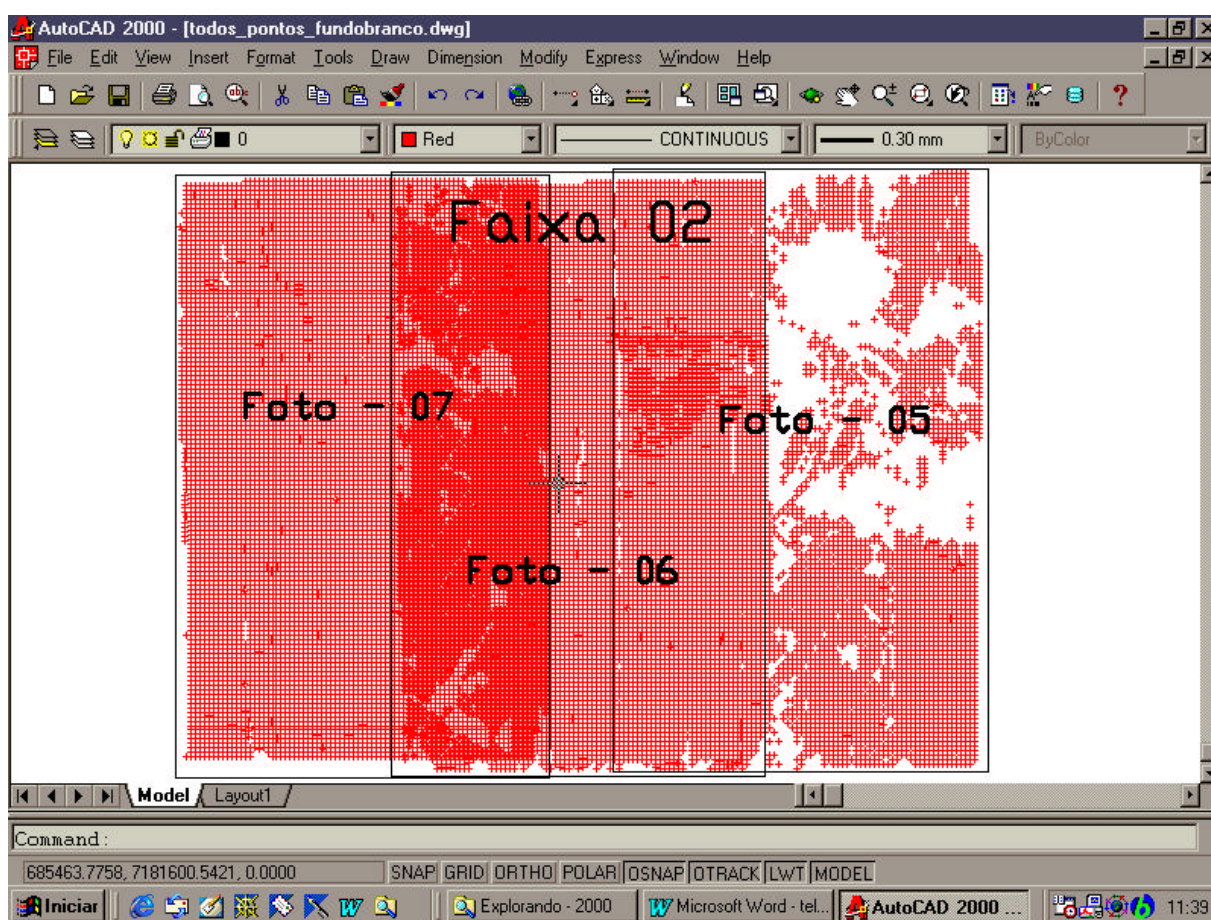
**Figura 4.2–** Resultado da geração do DTM no software SPRING 3.4 – usando os 200 pontos da aerotriangulação.

**b) Uso das coordenadas tridimensionais proveniente do ISDC – ImageStation DTM Collection**

**Após a utilização do sistema digital, mais especificamente através do uso do módulo ISDC – ImageStation DTM Collection, gerou-se um arquivo contendo aproximadamente 25.000 pontos com coordenadas tridimensionais da área de estudo do Município de São José dos Pinhais - Paraná. Deve-se considerar que para a geração do arquivo resposta, a metodologia adotada não contemplou a execução de nenhuma “breakline” ou área obscura, essa metodologia foi aplicada intencionalmente, visando usar os recursos do sistema digital na forma mais simplista.**

**Assim, pôde-se de fato avaliar o desempenho do sistema fotogramétrico digital na determinação das coordenadas 3D, sem fazer uso de recursos que melhore a qualidade na aquisição dos dados. Entretanto, de forma geral esse recurso deve ser adotado, pois há uma sensível melhora na qualidade dos dados resposta, além disso deve-se considerar que as empresas de cartografia na execução dos seus trabalhos adotam essa metodologia.**

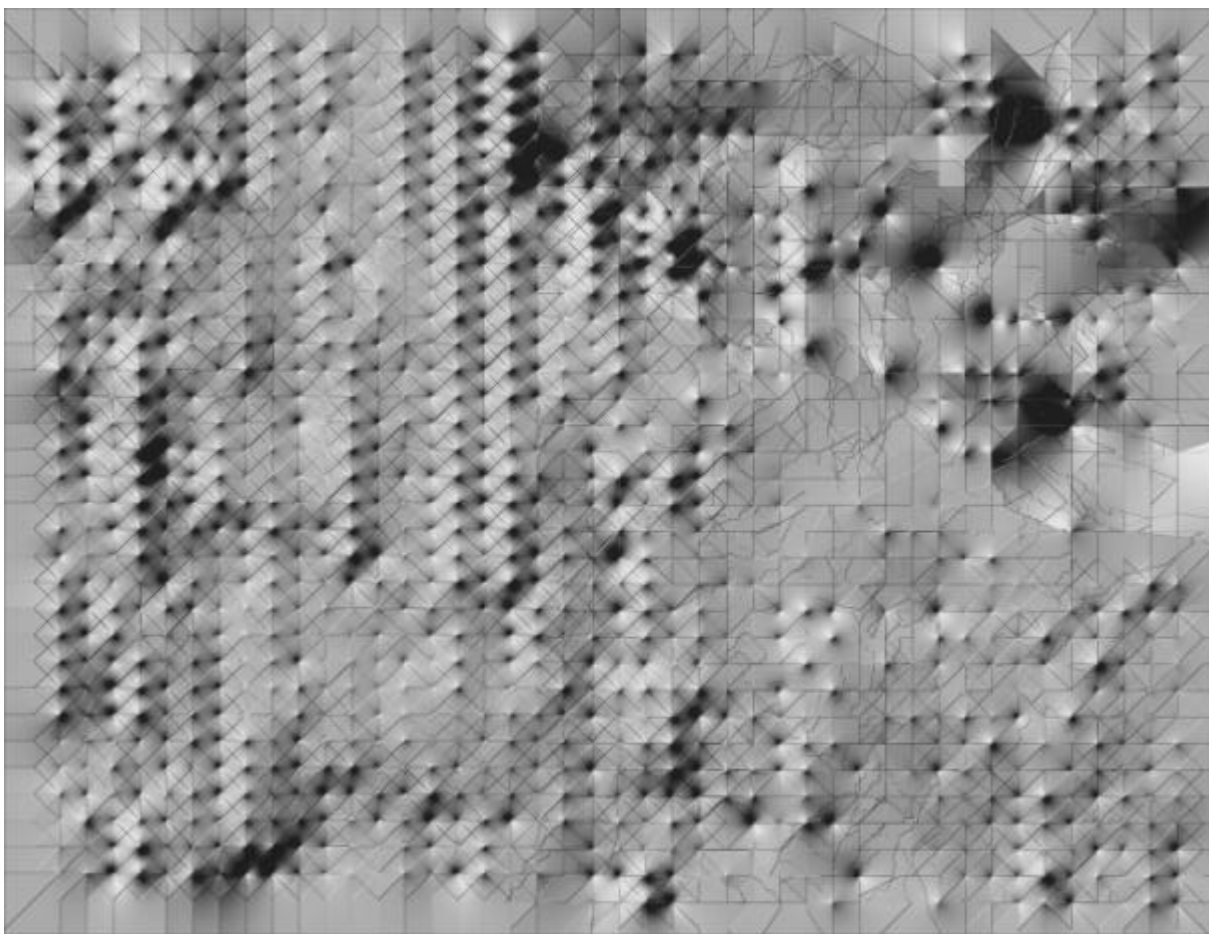
Os resultados do uso do sistema fotogramétrico digital Zeiss Intergraph – ImageStation, apresentam-se a seguir, sendo o primeiro resultado do trabalho desenvolvido no módulo ISDC – ImageStation DTM Collection – o qual rodou sobre a plataforma MicroStation - Windows. Assim, deve-se considerar que para cada cruzeta mostrada na Figura 4.3, foi determinado um conjunto de coordenadas 3D adquiridas através da visão estereoscópica. Posteriormente a



aquisição dos 25.000 pontos 3D, foi realizado o processo de interpolação por TIN e REC, culminando na geração do MNT - Modelo Numérico do Terreno conforme apresentado na Figura 4.4.

**Figura 4.3** - Coordenadas provenientes da fotogrametria digital ImageStation – Módulo ISDC.



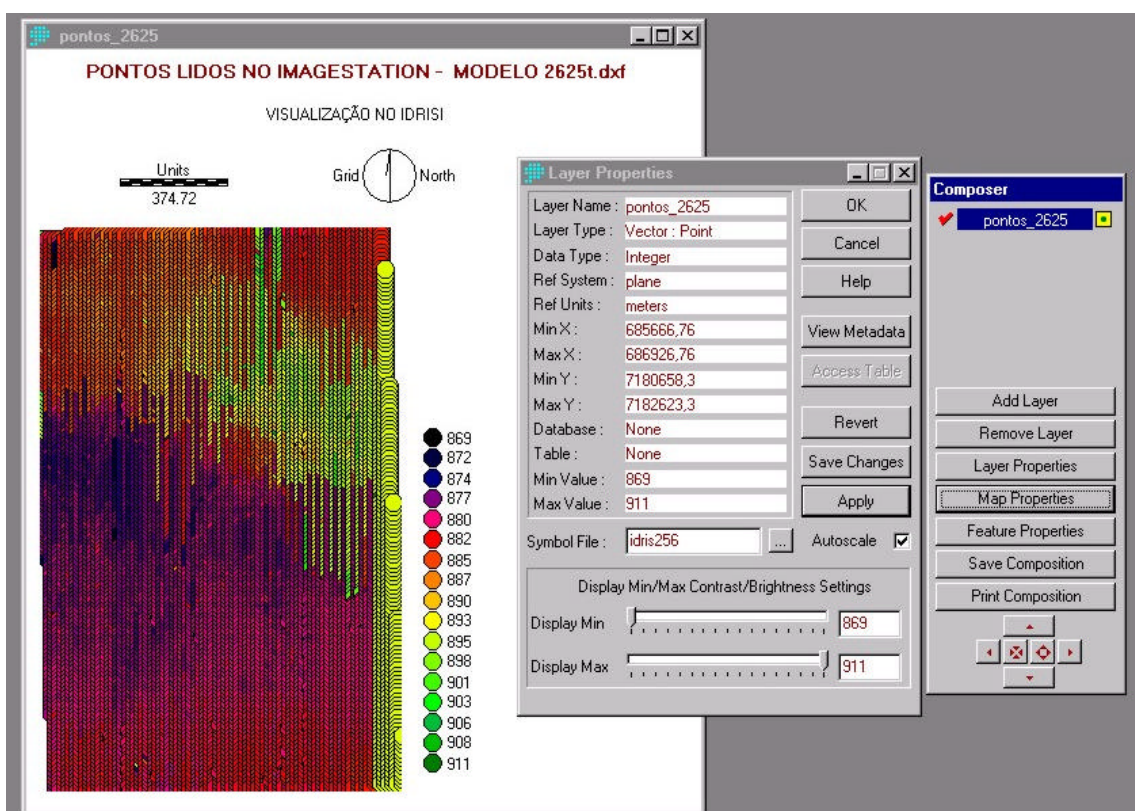


**Figura 4.4**– Resultado da geração do DTM no software SPRING 3.4 – usando os pontos provenientes do ISDC.

### **c) Uso do software Idrisi Versão 32**

O software Idrisi foi usado somente como recurso alternativo para visualizar de forma confortável o resultado dos dados adquiridos após a leitura das coordenadas tridimensional no sistema ImageStation (parte dos 25.000 pontos), estes dados foram obtidos durante o processo de geração do Modelo Digital do Terreno.

**Entretanto, deve-se considerar que por motivo de apresentação, manipulação e tamanho de arquivo a Figura 4.5, mostra somente os dados correspondente ao modelo fotogramétrico da faixa 2, fotos 5 e 6.**



**Figura 4.5** – Pontos 3D do modelo 2526 lidos no ImageStation e importados para o Idrisi.

#### 4.1.2 – Análises sobre o Produto cartográfico - 2000

O software SPRING possui um sistema obrigatório de configuração de projeto para se iniciar os trabalhos, porém esta apresenta-se não ergonômico ao usuário e bastante confuso. Portanto, a forma de se configurar os parâmetros no software SPRING deveria ser mais clara e objetiva ao usuário do sistema.

Considerando as metodologias utilizadas para geração do MNT – Modelo Numérico do Terreno, utilizando como dados de entrada as grandezas de 200 pontos e 25.000 pontos, verificou-se que para o primeiro caso o tempo de

**processamento e o desempenho do software SPRING foi adequado.**

**Entretanto, para os dados de entrada com 25.000 pontos o período de processamento e esforço utilizados da máquina foi considerável. Deve-se ainda lembrar que a configuração do computador considerado neste contexto apresenta-se descrita nos materiais utilizados no projeto.**

#### **a) Considerações Gerais**

**Um elemento pouco considerado no processo da geração da cartografia digital, entretanto altamente influente é o equipamento que permite a visão tridimensional, ou seja os óculos. Se eles estiverem sujos, ergonomicamente não ajustados ao formato do rosto ou ainda com a bateria fraca, a sensação de desconforto e conseqüente irritação causada no usuário do sistema é considerável – podendo acarretar num desempenho insatisfatório durante o processo de geração da cartografia digital.**

Também deve ser considerado o fato de que os óculos não possuem lentes anti-reflexo e que em algum momento, dependendo de como se encontra a luminosidade do ambiente de trabalho, pode ocorrer interferência no andamento do trabalho e a desconcentração do manipulador do equipamento.

Além dos fatores acima relacionados, os quais apresentam-se como fontes externas de interferência à execução do trabalho, deve-se considerar a boa acuidade visual do operador do sistema no processo de execução da fotogrametria digital. Este fator é de extrema importante, pois o usuário do sistema está diretamente vinculado a qualidade visual, acarretando a geração de um produto cartográfico confiável ou não geometricamente. Exemplo pode ser dado em relação a identificação precisa dos pontos de interesse tais como: os pontos de controle, especialmente na determinação da coordenada "Z"; orientação interior (seu refinamento) durante o processo de orientação dos modelos fotogramétricos; determinação dos pontos de enlace entre os modelos fotogramétricos e entre faixas do bloco; determinação da coordenada

“Z” após a geração do *pathway* durante o processo de geração do modelo digital do terreno e por fim na identificação das feições no terreno no processo propriamente dito da restituição.

## 1.2

**Assim, pode-se afirmar com certeza que durante o processo digital da cartografia, os olhos norteiam o usuário do sistema para gerar uma boa cartografia, dessa forma exames oftalmológicos devem ser feitos com frequência determinando a acuidade visual de cada operário – esse monitoramento é primordial para uma empresa de cartografia, pois a saúde visual dos funcionários estará diretamente ligada a qualidade geométrica dos produtos cartográficos gerados.**

**A resolução da escanerização é um outro importante parâmetro que deve ser considerado no processo de geração da cartografia digital, pois a qualidade geométrica na identificação das feições, pontos de interesse (controle, enlace, orientação interior, entre outros) está diretamente ligada a este fator. Uma relação cuidadosa deve ser feita entre maior resolução/ganho de informação, associado ao tamanho do arquivo, pois até uma determinada resolução o ganho de informação torna-se significativo e o tamanho do arquivo adequado à manipulação no sistema, entretanto a partir de um limiar o ganho visual na identificação das feições torna-se ínfimo e o tamanho do arquivo aumenta consideravelmente, como apresentado na Tabela 4.1, entre os valores de 5 ? m e 100 ? m.**

**Tabela 4.1** – Relação entre resolução, DPI e tamanho de arquivo em fotos aéreas (23x23cm)  
**Fonte:** Kraus (1997)

Resolução	DPI	1.2.1.1 TAMANHO ARQUIVO
-----------	-----	-------------------------

		1.2.2 FOTO PRETO/BRAN CO	Foto Colorido
5 ?m	$1,968504 \times 10^{-2}$	2018 MBytes	6054 Mbytes
10 ?m	$3,937008 \times 10^{-2}$	504 MBytes	1513 Mbytes
20 ?m	$7,874016 \times 10^{-2}$	126 Mbytes	378 Mbytes
50 ?m	$19,685039 \times 10^{-2}$	20 Mbytes	61 Mbytes
100 ?m	$39,370079 \times 10^{-2}$	5 MBytes	15 Mbytes

**Kraus (1997), afirma em seu livro sobre fotogrametria que o intervalo adequado de escanização associado a escala do produto cartográfico (fotos aéreas) deve ser conforme a Tabela 4.2:**

**Tabela 4.2 – Relação entre escalas e intervalos recomendados para digitalização**  
**Fonte: Kraus (1997)**

Escalas (1:m)	Intervalo de Digitalização	
	25cm	50cm
1: 30 000	8 ?m	17 ?m
1: 15 000	17 ?m	33 ?m
1: 5 000	50 ?m	100 ?m

Esta relação de escalas associada as resoluções de escanização de forma geral é assumida por toda a comunidade cartográfica que utiliza-se dos softwares visando trabalhar com a fotogrametria digital. Para melhor conhecer e comprovar a forma de como este procedimento esta sendo assumido no Brasil, foi executado um questionamento junto as empresas de aerofotogrametria que respaldou esta metodologia, através de várias informações adquiridas por profissionais de empresas de cartografia que se utilizam de escaneres. Além disso, foi realizada uma série de experiências, considerando várias resoluções associadas ao tamanho dos arquivos, as quais foram executadas no Laboratório de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Deve-se ressaltar ainda, que no sistema ImageStation existe o software de compactação de imagem que apresentou uma resposta surpreendente. Entretanto, sua desvantagem é que automaticamente ele faz a conversão do arquivo para um formato único, de uso exclusivo ao sistema. Como exemplo alguns arquivos que tinham uma dimensão de 113Mb no sistema PHODIS, após serem compactados no sistema ImageStation reduziram para 30Mb, essa melhora foi de grande ajuda, visto que além do tamanho do arquivo original da imagem deve ser considerada as outras imagens na forma o sistema piramidal, bem como as demais fotos que compõem o bloco.**

## **B) CONSIDERAÇÕES SOBRE A FOTOGRAMETRIA DIGITAL**

Atualmente o número de empresas que desenvolvem sistemas fotogramétricos no mundo é muito menor se comparado há 30 anos atrás, especialmente em se tratando da era considerada fotogrametria digital. Isso decorre certamente em função das exigências do mercado e dos limites econômicos das empresas no desenvolvimento da tecnologia.

Segundo Spiller – Presidente da Empresa Carl Zeiss - Alemanha, em um debate realizado no encerramento do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário de 2000, as evidências sobre o futuro da fotogrametria digital em relação a hardware, software e mercado, indicam que haverá um enorme confronto entre fotos e imagens. Spiller afirma ainda que desponha um panorama de turbulência entre foto e imagem, entretanto o grande termômetro indicador do sucesso infere que haverá uma dependência direta das necessidades do mercado, ou seja, das exigências da sociedade consumidora sobre os produtos de sensoriamento remoto. O mercado brasileiro necessita em função do seu poder aquisitivo, de produtos com baixo custo; por outro lado nos países considerados de 1º mundo o potencial de investimento das empresas de aerofotogrametria junto ao mercado consumidor é alto.

Dessa forma, há uma ampla área relacionada ao mercado de imagem, ou seja que há espaço para todos, além disso ainda há muita necessidade de educar e introduzir o uso de imagens aos potenciais usuários dos produtos de sensoriamento remoto.

Por exemplo, se uma pessoa está interessada em comprar uma propriedade na área urbana é necessário que conheça com confiança as suas dimensões. Para esta situação a aplicação da fotogrametria é a mais indicada, obtendo-se muitas vezes resultados surpreendentes.

Mediante a necessidade de uso Sr. Spiller enfatiza que em pouco tempo os preços sobre os produtos provenientes da fotogrametria digital irão cair; primeiro a tecnologia deve ser consolidada através da sua aplicação em várias áreas. Assim, obtendo-se retornos concretos ganha-se a confiança do usuário e a tecnologia passa a se consagrar. Além disso, há que considerar a evolução tecnológica da fotogrametria digital, pois a relação custo e desenvolvimento tecnológico tende com o tempo a se estabilizar, gerando indiretamente um processo de redução de custos na sua geração. Assim, segundo o Sr. Spiller “não se vê nada que possa atrapalhar a aplicação de investimentos pelas grandes empresas de fotogrametria” no mercado mundial.

**O recurso da visualização estereocópica (3D) entre modelos é fantástico considerando a possibilidade de adquirir informações sobre a superfície analisada, e torna-se ainda muito mais impressionante quando analisada por um leigo que nunca teve contato com esta situação tridimensional de representação. Mas, o usuário do sistema deve ser treinado o suficiente para não abusar do reconhecimento das feições nos bordos dos modelos “red boundary” – isso porque nesta área em especial o índice de distorção é o maior encontrado.**

**Os softwares de fotogrametria digital a cada dia tornam-se mais ricos em recursos e ferramentas que possam manipular e extrair da melhor forma possíveis informações sobre as imagens digitais, um dos recursos que deve ser ressaltado é o “ZOOM” o seu poder de ampliar ou reduzir as feições é**

**altamente usado e importante para os usuários dos softwares de fotogrametria digital. Porém, deve-se tomar cuidado, pois o entorno e o tamanho do *pixel*, os quais são fatores de grande influência na identificação e interpretação correta do alvo, podem de alguma forma enganar o usuário do sistema no momento da interpretação.**

**Com relação a aerotriangulação no sistema ImageStation, comenta Kölbl (1996), é como brincar com um vídeo game. Efetivamente abrem-se várias janelas contendo diferentes fotos, as quais apresentam a mesma área, e automaticamente faz-se a procura e coincidência entre os pontos homólogos. Logo depois da tarefa concluída é executado um relatório estatístico, podendo-se através de sua análise, refinar as medidas e aprimorar a qualidade dos dados por meio da coincidência visual dos pontos de enlace, pontos de apoio ou marcas fiduciais.**

O tempo de trabalho ininterrupto pelos usuários dos sistemas fotogramétricos é altamente desfavorável pelo prisma da qualidade, uma vez que durante o processo de trabalho, ou seja, visualização tridimensional dos modelos estereoscópicos é exigida um alto esforço visual. Porém, muitos dos funcionários das empresas de fotogrametria recebem seus salários atrelados a produtividade, logo a relação descanso/produtividade não é considerada da forma como deveria. O recomendado é que a cada cinquenta minutos de trabalho haja dez minutos de descanso.

Na era da fotogrametria digital o processo de revelação do filme assume uma condição de maior importância se considerado a era da fotogrametria analítica ou analógica, isso porque muitas das tarefas podem ser executadas primeiramente de forma automática. Entretanto o bom resultado dessas tarefas está diretamente ligado a qualidade do contraste/realce, e consequentemente ao reconhecimento das feições e seus homólogos, existente entre as fotografias aéreas.



Para o trabalho executado na área de São José dos Pinhais, durante o processo de leitura das coordenadas tridimensionais (Z), foi considerado uma malha fixa chamada pelo sistema de “pathway” tendo um espaçamento de 15x15 metros, acarretando em média para cada modelo fotogramétrico uma série de 25.000 pontos de leituras. Estes pontos foram as referências para a geração do MNT, em um produto final na escala de 1:2000. Após ter verificado junto as empresas de fotogrametria qual era a prática utilizada, ou seja o espaçamento padrão adotado em similar situação, a resposta ficou dentro da expectativa esperada. Entretanto, atenção especial deve ser dada para situações topológicas distintas, sendo que para terrenos mais dobrados existe a necessidade de um menor espaçamento, bem como o uso efetivo de “breaklines” e para terrenos planos espaçamentos mais distantes.

Como exemplo pode-se citar o trabalho executado pela empresa Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S. A., a qual executou a geração do modelo digital do terreno para uma área em especial no Paraguai, na escala 1:1000 adotando-se um “pathway” de 5m.

Deve-se conhecer muito bem o sistema fotogramétrico digital e os seus recursos disponíveis, isso significa um treinamento adequado para os usuários do sistema, pois através destes comandos grande parte do trabalho pode ser otimizada, tendo-se um desempenho maior. Uma situação na qual reflete esta realidade, é o uso correto dos comandos “breaklines” e “áreas obscuras” – entretanto para manipular estes comandos com perícia demanda um tempo de aprendizado e compreensão do seu significado.

**Fatalmente após a geração do MNT, usando corretamente os recursos disponíveis dos softwares de fotogrametria digital, vislumbra-se a execução das ortofotos digitais. Este produto cartográfico atualmente encontra-se em alta no mercado de cartografia, pela sua apresentação visual causadora de grande impacto ao contratante e por permitir o seu uso como se fosse um mapa, ou seja, passível de medição. Contudo, os contratantes do serviço cartográfico apresentam pouco ou nenhum conhecimento no processo de execução do trabalho, assim como na avaliação da qualidade geométrica e definição de normas para execução das ortofotos, ou seja na geração do documento normatizador em um processo licitatório. Portanto, atualmente é**

**grande a demanda de consultores em cartografia para se executar qualquer mapeamento ou geração de produtos cartográficos, sejam eles mapas (analíticos ou digital) ou ainda ortofotos digital.**

**Segundo Kölbl e Bach (1996), a resolução de uma imagem é definitivamente determinada pela qualidade do filme e pelas características da câmera aérea. Assim, torna-se apropriado escanerizar os filmes preto e branco na resolução de 10x10<sup>2</sup> m e coloridos considerando o tamanho do pixel de 15-20<sup>2</sup> m. Na execução do trabalho para o Município de São José dos Pinhais pôde-se ter uma experiência sobre o tamanho do pixel, resolução da imagem, tamanho do arquivo e desempenho da máquina para geração de ortofotos – tendo como referência a grade MNT com qualidade geométrica de acordo a escala 1:2000. Na Alemanha via de regra usa-se o tamanho do pixel para geração de ortofoto como tendo seu correspondente no terreno equivalente a 10cm.**

Com relação do MDT Ackermann (1996), afirma que a geração automática de *DEM – Digital Elevation Model* é certamente a mais aprimorada ferramenta desenvolvida para a fotogrametria digital. Na maioria das vezes a metodologia digital serve adequadamente para os propósitos sugeridos, com acurácia e vantagens econômicas na geração de *DTM – Digital Terrain Model* sobre a geração analítica de DTM.

#### **D) SISTEMAS FOTOGRAMÉTRICOS DIGITAL**

As características e recursos de alguns sistemas fotogramétricos digitais disponíveis no mercado mundial apresentam-se nos Quadros 2.1, 2.2, 2.3, 2.4 e 2.5. Entretanto, a experiência adquirida com o desenvolvimento deste projeto utilizando-se o Sistema Phodis - Photogrammetric Digital System e o Z/I - ImageStation, permitiu que sejam feitas algumas considerações de forma comparativa entre os dois sistemas, conforme apresentado na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 – Comparação entre os sistemas fotogramétricos digital**

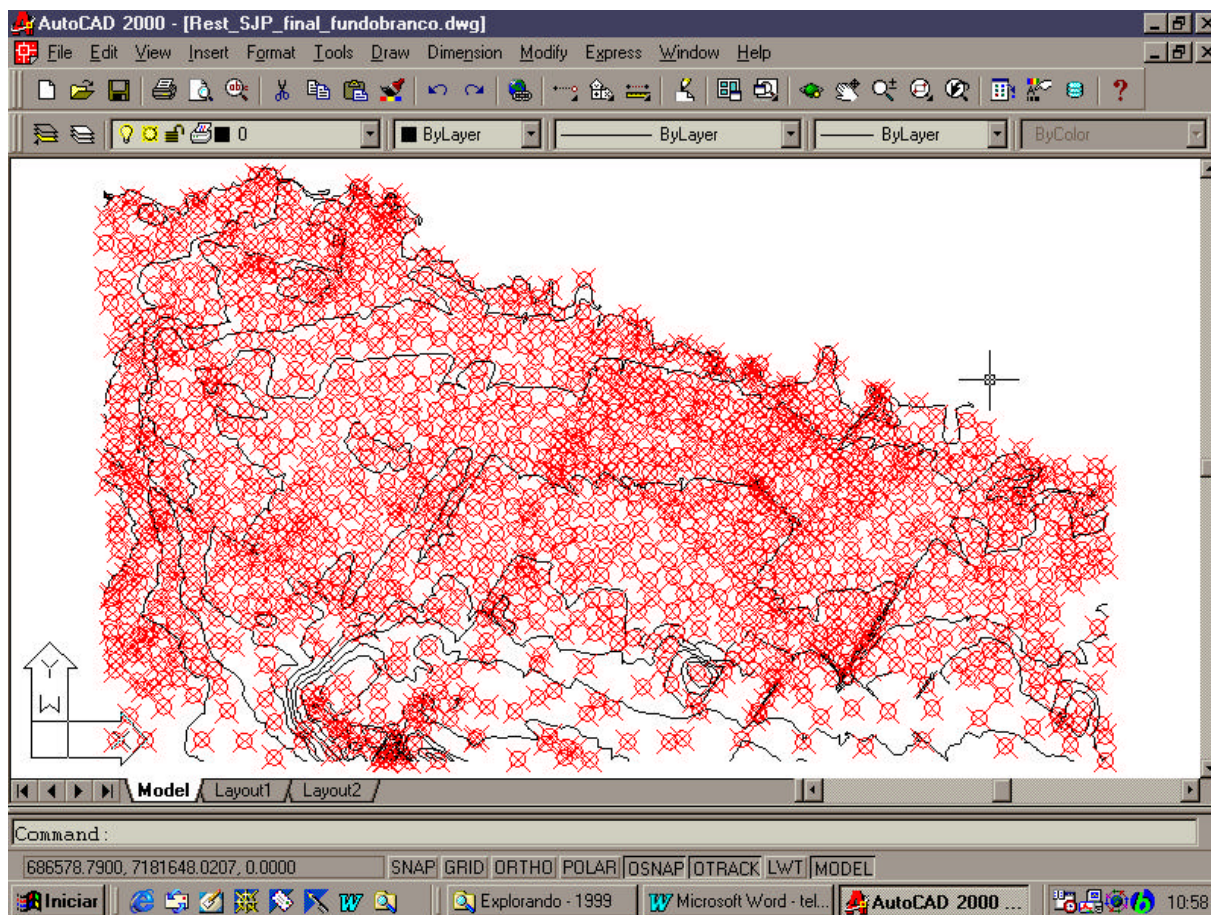
<b>Características</b>	<b>Phodis</b>	<b>ImageStation</b>
Processo de digitalização (uso do scanner)	Bom desempenho, recursos adequados, facilidade de uso.	Sem parâmetro – não foi usado o scanner desta empresa.
Tamanho do arquivo a ser manipulado no sistema	Muito grande, inviável no uso de um município grande. Demora no processamento.	Módulo de compactação extremamente eficiente.
Facilidade de aprendizado	Não	Sim
Uso do software de aerotriangulação	Complicado e não se encontra integrado ao sistema, é um software que deve ser usado em paralelo.	Muito confortável de ser usado pela sua facilidade e relatórios adequados, controle eficiente e fácil uso – integrado ao sistema.
Facilidade de trabalho na plataforma em que roda o sistema	Sistema UNIX – cultura de plataforma não disseminada na América Latina.	Sistema Windows – fácil uso, em função da cultura predominante.
Fácil acesso e apoio da assistência técnica	Apoio técnico integral por meio de telefonemas e e-mails, grande atenção prestada aos usuários.	Apoio técnico insatisfatório pela empresa nos EUA, entretanto a empresa brasileira forneceu o apoio necessário.
Tamanho do arquivo	Difícil trabalhar com arquivos grandes	Possui um software de compactação de arquivo ideal ao desenvolvimento das atividades.
Monitor	Possui dois monitores	Facilita a visualização e o desenvolvimento das atividades, pois possui somente um monitor.

## **4.2 - Cartografia Analítica – Produto cartográfico de 1999**

### **4.2.1 – RESULTADOS ADQUIRIDOS A PARTIR DO PRODUTO CARTOGRÁFICO - 1999**

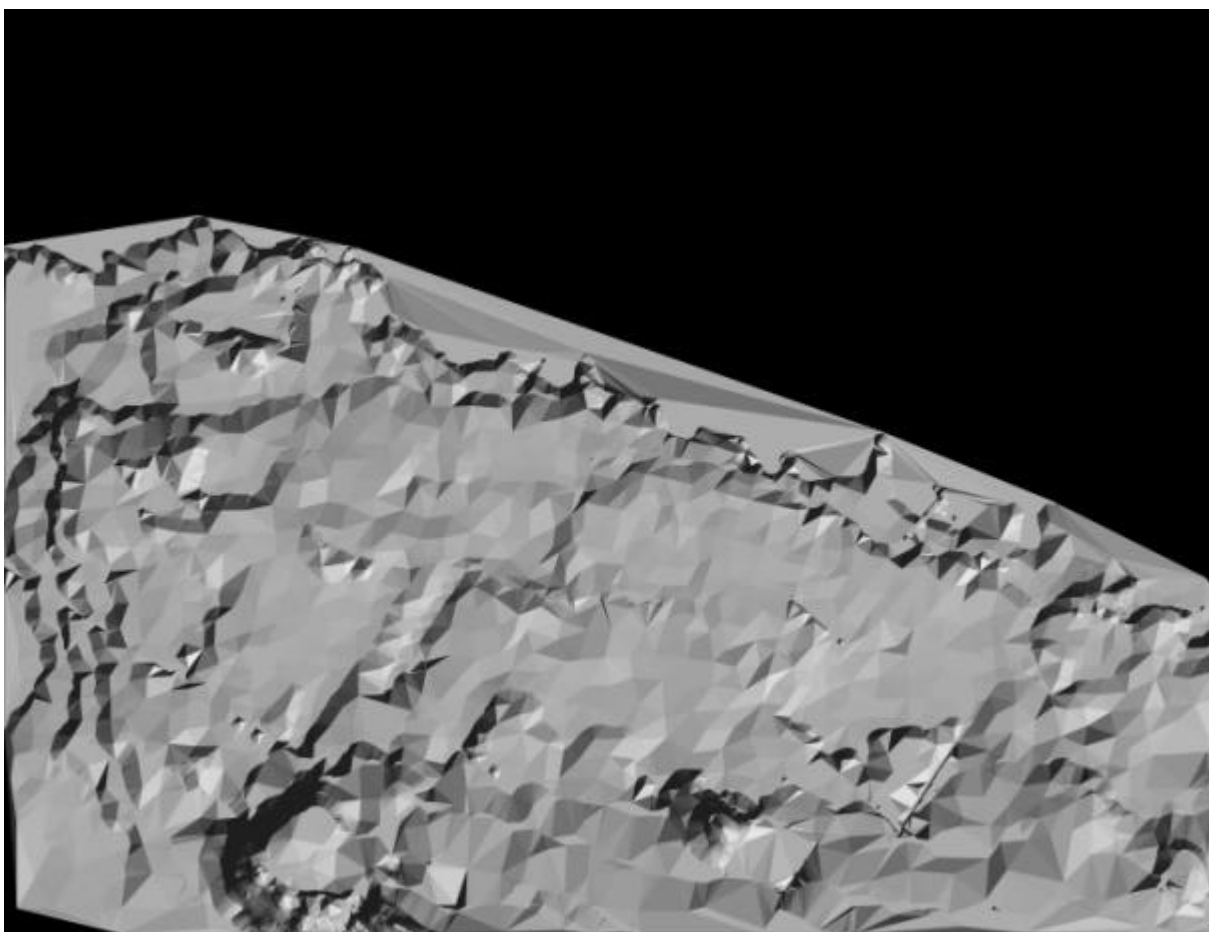
O primeiro resultado obtido nesta etapa de trabalho foi o mapa analítico de 1999 gerado pela empresa Aerodata Engenharia de Aerolevantamento S. A. para o Município de São José dos Pinhais - Paraná, o qual foi gentilmente cedido para o desenvolvimento deste projeto. Neste mapa existiam todos os níveis de informações tradicionalmente gerados pelas empresas de aerolevantamento, entretanto conforme Figura 4.6, somente as informações de uma pequena área de interesse ao projeto contendo as informações altimétricas, ou seja pontos cotados e curvas de nível foram realmente utilizadas.

Assim, o produto base (mapa analítico de 1999) continha por volta de 1200 pontos cotados e 67 feições, ou seja curvas de nível nas quais as altitudes se repetiam.



**Figura 4.6-** Coordenadas provenientes da restituição analítica de 1999, usadas como fonte base na geração do DTM.

O resultado gráfico apresentado na Figura 4.7, obtido a partir dos dados de 1999 foi o MNT, gerado através do software SPRING 3.4 pelo interpolador “Média Simples”, no qual a superfície teve por base uma grade definida de 2x2metros.. Finalizada esta atividade passou-se para a determinação dos pontos amostrais que foram base de estudo para a aplicação do método geoestatístico.



**Figura 4.7** – Resultado da geração do DTM no software SPRING – usando os pontos cotados e curvas de nível provenientes da restituição de 1999.

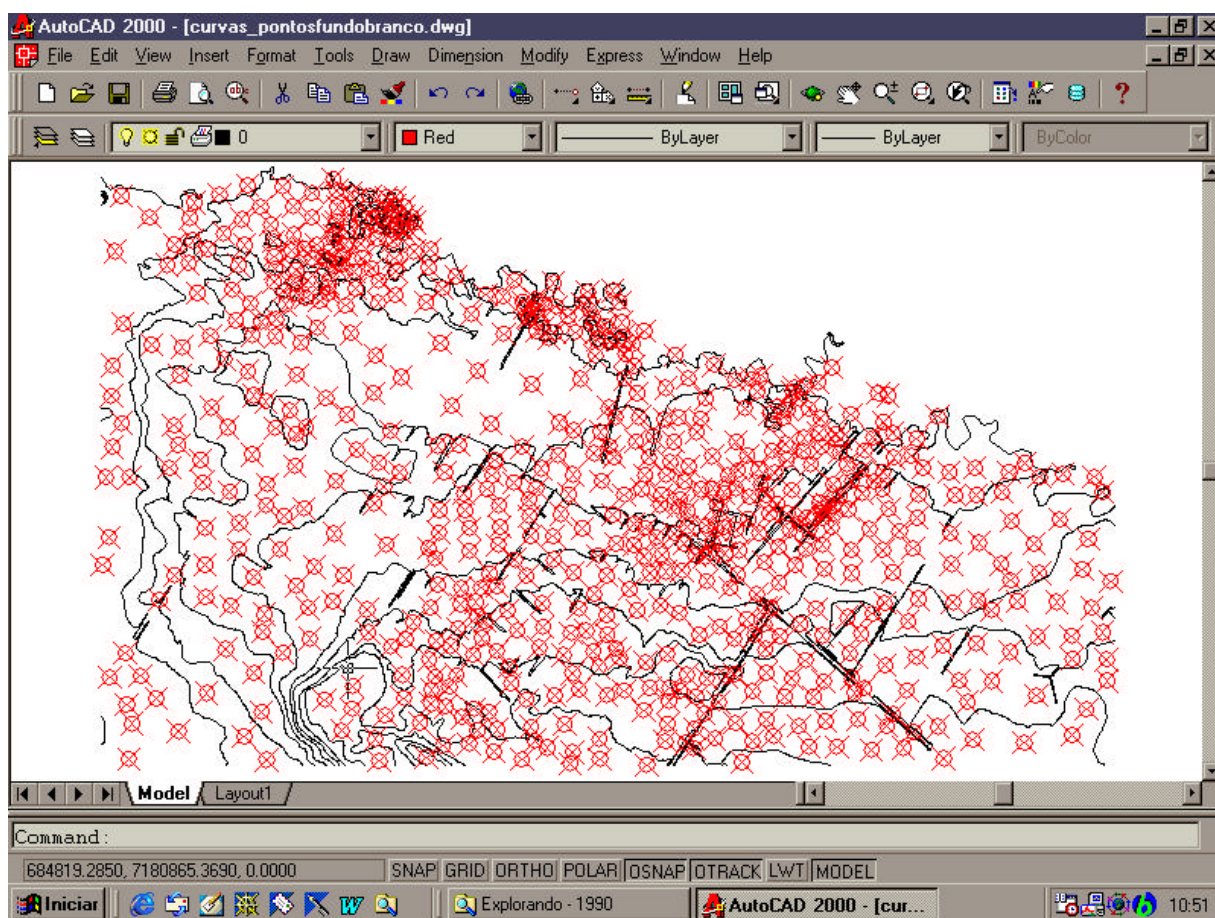
### **4.3 - Cartografia Analítica – Produto cartográfico de 1990**

#### **4.3.1 – RESULTADOS ADQUIRIDOS A PARTIR DO PRODUTO CARTOGRÁFICO - 1990**

O resultado vetorial da restituição do Município de São José dos Pinhais, datado de 1999 aproxima-se muito do resultado apresentado no item 4.8., entretanto neste momento a restituição foi realizada em 1990. Este produto cartográfico também foi gerado pela empresa Aerodata Engenharia de Aerolevantamentos S. A. . O maior diferencial apresentado entre os produtos cartográficos gerados em meio analítico de 1990 e 1999, é a quantidade de informações constante nele, ou seja gerou-se o MNT desta área tendo como dados de entrada

643 pontos cotados e 72 feições (polilinhas) as quais representavam as curvas de nível, conforme apresentado na Figura 4.8.

Deve-se considerar que tendo sido realizadas as duas restituições pela mesma empresa de aerolevantamentos (Aerodata), a metodologia de execução das tarefas, bem como o uso dos equipamentos de restituição foram equivalente, mesmo havendo nove anos entre um levantamento e outro.

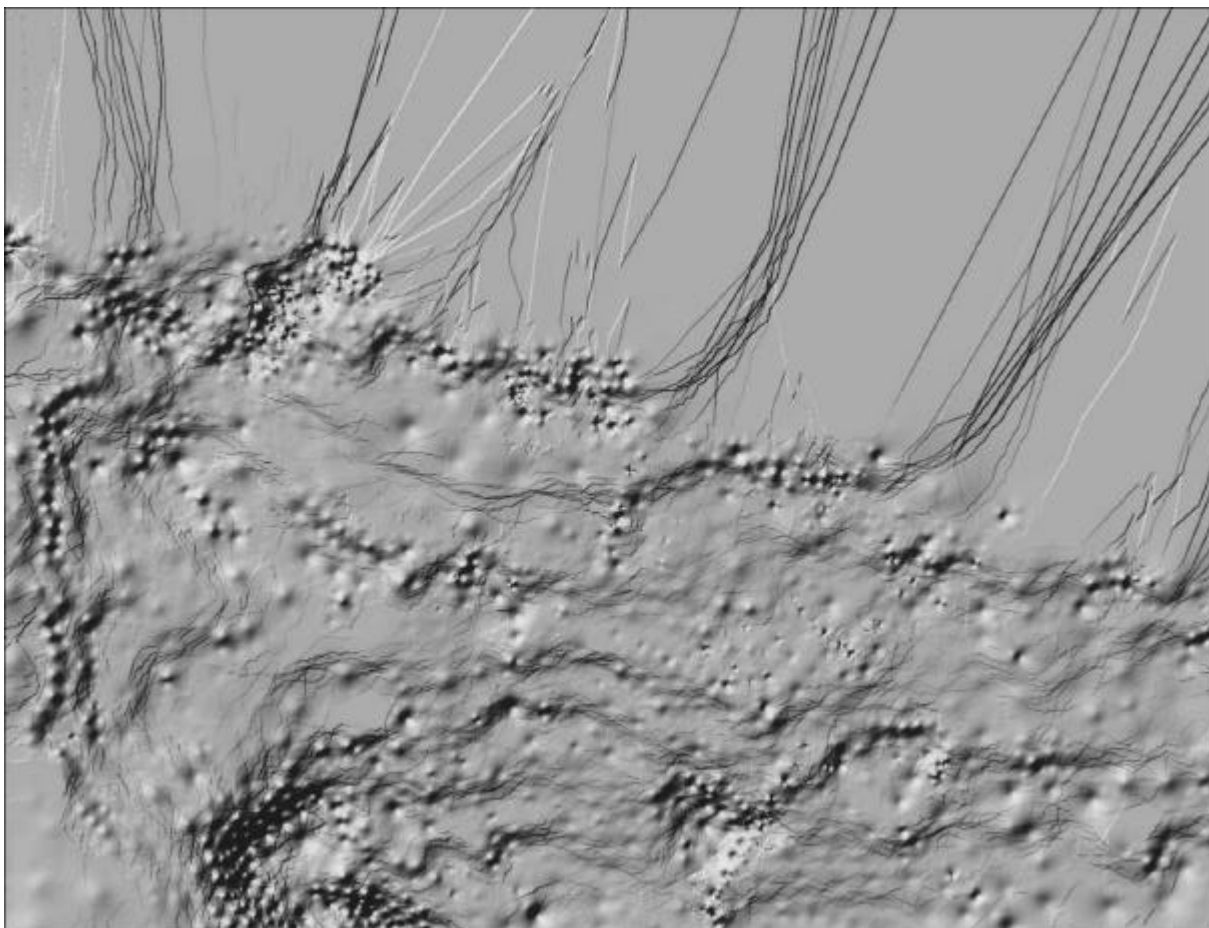


**Figura 4.8** - Coordenadas provenientes da restituição analítica de 1990, usadas como fonte base na geração do DTM.

De forma similar a restituição de 1999, gerou-se para a restituição de 1990 um resultado gráfico, ou seja um MNT, através do software SPRING 3.4, no qual a superfície teve por base uma grade definida como padrão de 2x2metros, conforme Figura 4.9. Entretanto, o método de interpolação utilizado foi o “Inverso da Distância”, logo o resultado não foi satisfatório, pois o terreno



apresentou a sensação de estar espelhado, ou seja, onde existe a maior profundidade deveria ser a parte mais elevada e vice-versa. Finalizada esta atividade passou-se para a determinação dos pontos amostrais que foram a base de estudo para a aplicação do método geoestatístico.



**Figura 4.9** – Resultado da geração do DTM no software SPRING – usando os pontos cotados e curvas de nível provenientes da restituição de 1990.

**Deve-se ressaltar firmemente que após realizado todo este trabalho, os dados acima apresentados não tiveram utilidade prática na continuidade do trabalho proposto, isso porque a leitura em tela das coordenadas tridimensionais chegavam somente até a resolução da casa dos décimos. Portanto, gerou-se um arquivo no formato TXT, contendo as coordenadas com até a sexta casa depois da virgula, para que pudessem ser confrontadas na variável altimétrica, entre os quatro produtos cartográficos, objetivando-se assim**

**aplicar a análise estatística. Entretanto, o arquivo contendo a resolução de 2m por 2m após ter sido exportado no formato TXT, obteve uma dimensão de aproximadamente 40Mb e sendo aberto no Word – Office, chegou-se a quase 700 páginas – tornando inviável a procura e análise das coordenadas de interesse.**

Recorreu-se ao INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais e via e-mail foi dito que o problema de leitura de coordenadas já havia sido solucionado, a resolução em tela havia sido aumentada, entretanto somente na versão SPRING 3.5 este recurso estaria disponível.

Portanto, objetivando finalizar o trabalho recorreu-se ao uso de um novo software – desta vez da família Bentley – GeoPak – GeoTerrain, o qual roda na plataforma CAD – MicroStation, a grande facilidade de uso deste software foi trabalhar com um arquivo vetorial e não imagem. Até o presente momento, no software SPRING, os dados trabalhados foram imagens.

#### **4.4 – Resultados adquiridos através do uso do software GeoTerrain**

**Considerando o fato de que no Software GeoTerrain, trabalhou-se somente com dados vetoriais, isso acarretou arquivos menores e de fácil manipulação no sistema, sem exigir muito da máquina. Portanto, decidiu-se gerar várias grades de MNT para cada um dos quatro produtos cartográficos que deram início ao trabalho, exemplo do resultado gráfico de toda área poder ser conferido nas Figuras 3.23 e 3.24 do capítulo 3. Deve-se também considerar que não fazia sentido mostrar o resultado gráfico da geração das malhas para cada produto, conforme apresentado na Tabela 4.4, isso porque tomaria muito espaço no trabalho e o ganho final estaria calcado nos pontos amostrais usados na análise estatística.**

**Tabela 4.4 – Produtos Cartográficos e resoluções de grid utilizados para geração dos MNT's**

<b>Produto cartográfico</b>	<b>Resolução do grid</b>	<b>Produtos cartográfico</b>	<b>Resolução do grid</b>	<b>Produtos cartográfico</b>	<b>Resolução do grid</b>	<b>Produto cartográfico</b>	<b>Resolução do grid</b>
-----------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	------------------------------	--------------------------	-----------------------------	--------------------------



1990	100m	1999	100m	2000	100m	2000_aero	100m
1990	50m	1999	50m	2000	50m	2000_aero	50m
1990	20m	1999	20m	2000	20m	2000_aero	20m
1990	10m	1999	10m	2000	10m	2000_aero	10m
1990	5m	1999	5m	2000	5m	2000_aero	5m
1990	2m	1999	2m	2000	2m	2000_aero	2m

Entretanto para a geração do grid de 2m, o arquivo gráfico no MicroStation – GeoTerrain, ultrapassou o tamanho de 32Mb, isso significou que qualquer dados gerado a partir deste tamanho de arquivo não foi gravado. Ou seja, o limite de arquivo vetorial no software MicroStation, extensão dgn é de 32Mb. Assim, foi necessário dividir o arquivo em faixas, mantendo uma sobreposição para se gerar a grade de 2m – esse foi o fator limitante para geração da grade MNT, uma vez que se fosse fazer para 1m a segmentação dos dados gráficos seriam bem maior.

#### **4.5 - Resultado e Análises da Geoestatística**

Segundo Guerra e Salles (1988), os métodos geoestatísticos surgiram para fundir o aspecto espacial (topológico) e o aspecto aleatório (probabilístico). Assim, estes métodos baseiam-se na teoria das variáveis regionalizadas, a partir das quais é possível estudar a estrutura espacial que sem dúvida nenhuma deve ter influído no valor definitivo associado a cada ponto do espaço. Neste trabalho a aplicação geoestatística foi utilizada para verificação e análise dos produtos cartográficos, os quais apresentam as mesmas posições (X,Y) de 24 mapas estudados, entretanto fundamentalmente foi relevante o estudo dos resultados apresentado na variação do fator (Z), que correspondeu as suas altitudes.

Portanto, seguindo-se a metodologia geoestatística leva-se em conta o aspecto duplo: 1) correlações espaciais entre as amostras e sua aleatoriedade representada pelas variações imprevistas de um ponto a outro, chamados Métodos Topo-probabilísticos os quais permitem calcular o erro cometido na avaliação; 2) bem como leva em conta a posição real das amostras.

##### **4.5.1 – Análise Descritiva Geral**

Os pontos amostrais tridimensionais definidos, apresentam-se graficamente representados na Figura 3.24, do Capítulo 3. O número de pontos que representou amostralmente a área de estudo equivalente a  $5,7\text{km}^2$ , foi de aproximadamente 80 pontos, conforme apresentado no esquema da Figura 3.24.

**Nas Tabelas 4.5 e 4.6 são apresentados os valores das estatísticas que resumem o comportamento geral dos dados. Os resultados obtidos após a primeira análise estatística segundo os testes de normalidade de Anderson, Shapiro Wilk e de Jones para os dados de 1990\_100, 1990\_50, 1990\_20, 1990\_10, 1990\_5 e 1990\_2, apresentaram distribuição normal ao nível de 5% de significância, e conseqüentemente para este ano foi utilizado o estimador de semivariograma de Matheron definido na Equação 5, para o estudo da dependência espacial.**

**Tabela 4.5** – Resultado após verificação da dependência espacial nos dados de 1990

ESTATÍSTICAS	1990-100	1990-50	1990-20	1990-10	1990-5	1990-2
Número de casos	74	71	73	72	78	80
Mínimo	875,860	875,860	875,860	875,860	875,000	875,850
Primeiro Quartil (Q1)	877,977	877,980	877,975	877,980	877,980	877,983
Mediana	879,000	879,000	879,000	879,000	878,995	879,000
Terceiro Quartil (Q3)	880,023	880,330	880,180	880,027	880,013	880,007
Máximo	883,810	883,810	883,810	883,810	883,940	883,540
Média	879,131	879,278	879,171	879,190	879,068	879,099
Desvio Padrão	1,918	1,950	1,963	1,968	1,897	1,864
Assimetria	0,498550	0,460796	0,480822	0,497430	0,462550	0,502251
Curtose	$-3,5 \cdot 10^{-1}$	$-4,9 \cdot 10^{-1}$	$-4,4 \cdot 10^{-1}$	$-4,3 \cdot 10^{-1}$	$-1,3 \cdot 10^{-1}$	$-3,0 \cdot 10^{-1}$
Shapiro Wilk p-valor	0,0571	0,0673	0,0639	0,0436	0,0833	0,0354
Anderson Darling p-valor	0,016	0,017	0,020	0,008	0,014	0,004
Coeficiente de Variação – CV (%)	0,21816	0,22177	0,22327	0,22384	0,21579	0,21203

se p-valor < 0,05 rejeita-se a normalidade

Os testes de Shapiro Wilk e Anderson Darling, para determinação da normalidade entre os dados amostrados, foram executados através do uso do software Minitab 13.0, entretanto o teste de Jones foi executado através dos resultados apresentados pela assimetria e curtose em uma tabela estatística, conforme apresentados abaixo para os dados de 1990\_10 e 1990\_2.

Teste de Jones para os dados de 1990, conforme se apresenta na Tabela 4.6.

**Tabela 4.6** – Resultado do teste de normalidade de Jones ao nível de 5% de significância

1990_10 – Pontos amostrais 72	1990_2 – Pontos amostrais 80
Verificação da Assimetria	Verificação da Assimetria
$-0,526 < \text{ass. } (0,502251) < 0,526$	$-0,5515 < \text{ass. } (0,4974) < 0,5515$
Verificação da Curtose	Verificação da Curtose
$-0,78 < \text{curt. } (-0,30) < 1,29$	$-0,81 < \text{curt. } (-0,43) < 1,375$

Os valores para realização do teste foram adquiridos junto a tabela estatística apresentada no Anexo B.

Na Tabela 4.7 são apresentados os resumos estatísticos das amostras referentes as seis malhas distintas das altitudes para o ano de 1999. Assim, considerando os resultados apresentados pelo teste de normalidade de Shapiro Wilk (p-valor), as malhas apresentam distribuição normal ao nível de 5% de significância.

**Tabela 4.7** – Resultado após verificação da dependência espacial nos dados de 1999

ESTATÍSTICAS	1999-100	1999-50	1999-20	1999-10	1999-5	1999-2
Número de casos	79	79	79	80	80	80
Mínimo	874,930	874,930	874,930	874,930	874,930	874,920
Primeiro Quartil (Q1)	880,000	878,000	878,000	878,000	878,000	878,000
Mediana	879,000	879,000	879,000	879,000	879,000	879,000

Terceiro Quantil (Q3)	880,020	880,010	880,020	880,017	880,017	880,017
Máximo	883,940	883,940	883,940	883,940	883,940	883,940
Média	879,052	879,033	879,058	879,070	879,070	879,054
Desvio Padrão	1,8790	1,8540	1,8810	1,87200	1,8720	1,8870
Assimetria	0,34134 3	0,320948	0,315834	0,298544	0,298496	0,283485
Curtose	0,10247 6	0,156688	,133816	0,145783	0,145109	0,11581
Shapiro Wilk p-valor	> 0,100	0,0992	> 0,100	> 0,100	> 0,100	> 0,100
Anderson Darling p-valor	0,017	0,014	0,013	0,015	0,015	0,012
Coefficiente de Variação – CV (%)	0,21375	0,21091	0,21397	0,21295	0,21295	0,21466

**Os dados de altitude de 2000 apresentaram distribuição normal da mesma forma que os dados amostrais referentes as altitudes de 1999, considerando as diferentes resoluções de malhas 3D. Esta situação pode ser verificada na Tabela 4.8.**

**Tabela 4.8 – Resultado após verificação da dependência espacial nos dados de 2000**

ESTATÍSTICAS	2000-100	2000-50	2000-20	2000-10	2000-5	2000-2
Número de casos	80	77	80	80	79	80
Mínimo	873,500	873,500	873,500	873,500	873,500	874,270
Primeiro Quartil (Q1)	876,753	876,160	876,513	876,235	876,410	876,918
Mediana	878,030	878,140	878,420	878,125	878,390	878,490
Terceiro Quartil (Q3)	879,320	880,055	879,890	879,467	879,500	879,890
Máximo	884,090	884,090	884,090	884,090	884,090	882,360
Média	878,185	878,356	878,358	878,220	878,275	878,424
Desvio Padrão	2,121	2,209	2,115	2,183	2,136	2,02
Assimetria	0,18045 3	7,82*10 <sup>-2</sup>	0,154491	0,242367	0,198302	9,84*10 <sup>-2</sup>
Curtose	-1,1*10 <sup>-1</sup>	-5,1*10 <sup>-1</sup>	-4,0*10 <sup>-1</sup>	-2,7*10 <sup>-1</sup>	-1,7*10 <sup>-1</sup>	-7,7*10 <sup>-1</sup>
Shapiro Wilk p-valor	> 0,100	> 0,100	> 0,100	> 0,100	> 0,100	> 0,100
Anderson Darling p-valor	0,425	0,230	0,196	0,300	0,378	0,128
Coefficiente de Variação – CV (%)	0,24152	0,25149	0,24079	0,24857	0,24320	0,22790

**A partir dos resultados obtidos, iniciou-se a análise de dependência espacial entre as 18 malhas, utilizando o semivariograma de Matheron e o software Variowin 2.2 (Pannatier, 1996).**

#### 4.5.2 – Análise Espacial Através da Geoestatística

Nas Tabelas 4.9, 4.10 e 4.11 são apresentados os resultados do ajuste de modelos teóricos e parâmetros dos semivariogramas experimentais obtidos para os dados que apresentaram dependência espacial. Os dados referem-se as altitudes dos anos de 1990, 1999 e 2000, considerando as seis malhas de interpolação realizadas distintamente para cada um dos 18 produtos.

**Tabela 4.9 – Resultados da Análise Geoestatística para os dados de 1990**

Variáveis	1990_100	1990_50	1990_20	1990_10	1990_5	1990_2
Modelo	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana
$C_0$ – Efeito Pepita	0,925	0,739	0,780	0,741	0,708	0,770
$C_1$ – Contribuição	3,7	3,8	3,9	3,9	3,6	3,5
a - Alcance	1395	1266,9	1290	1230	1247,3	1425
$C_0+C_1$ - Patamar	4,625	4,539	4,680	4,641	4,308	4,270
$EPR = C_0/(C_0+C_1)$	0,20	0,16	0,17	0,16	0,16	0,18

**Tabela 4.10 – Resultados da Análise Geoestatística para os dados de 1999**

Variáveis	1999_100	1999_50	1999_20	1999_10	1999_5	1999_2
Modelo	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana
$C_0$ – Efeito Pepita	0,735	0,680	0,700	0,735	0,659	0,623
$C_1$ – Contribuição	3,5	3,4	3,5	3,5	3,5	3,6
a – Alcance	1002,7	1313,1	1290	500,85	1220,75	1268,1
$C_0+C_1$ - Patamar	4,235	4,080	4,200	4,235	4,159	4,223
$EPR = C_0/(C_0+C_1)$	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,15

**Tabela 4.11 – Resultados da Análise Geoestatística para os dados de 2000**

Variáveis	2000_100	2000_50	2000_20	2000_10	2000_5	2000_2
Modelo	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana	Gaussiana
$C_0$ – Efeito Pepita	1,26	0,98	0,90	0,96	0,92	1,12
$C_1$ – Contribuição	3,915	4,214	4,005	4,206	4,370	3,880

a – Alcance	1245	1110	1110	1071,9	1110	1425
$C_0 + C_1$ - Patamar	5,175	5,194	4,905	5,166	5,290	5,000
$EPR = C_0 / (C_0 + C_1)$	0,24	0,19	0,18	0,19	0,17	0,22

Deve-se considerar ainda nas Tabelas 4.9, 4.10 e 4.11 a seguinte situação para os dados apresentados, com relação ao grau de dependência espacial:

Se  $EPR = C_0 / (C_0 + C_1)$ , onde  
EPR = Efeito Pepita Relativo

$EPR < 0.25$	$\Rightarrow$	Existe uma alta dependência espacial;
$0.25 \leq EPR \leq 0.75$	$\Rightarrow$	Existe um médio grau de dependência espacial;
$EPR > 0.75$	$\Rightarrow$	Para Geoestatística ou Estatística Clássica, existe pouca dependência espacial.

Na análise do EPR – Efeito Pepita Relativo para os dados de 1990, 1999 e 2000, considerando as malhas de 100x100m, 50x50m, 20x20m, 10x10m, 5x5m e 2x2m, pode-se afirmar que todos os valor apresentaram-se abaixo do limiar de 0,25. Em função dos valores estarem abaixo do limiar de 0,25 pode-se dizer que existe uma alta dependência espacial entre as amostras.

Como o dado avaliado para todos os produtos cartográficos correspondeu às altitudes, e estes apresentando uma alta dependência espacial, pode-se afirmar que a variância entre eles é pequena, assim fica caracterizado a situação da variação altimétrica. Ou seja, fica comprovado que o terreno caracteriza-se como sendo plano, como era de se esperar.

**Com relação ao alcance (a) determinado para os dados de 1990, pôde-se perceber na Tabela 4.9 que a variabilidade entre eles foi de 1230 a 1425, assim imaginando-se raios com dimensões médias de acordo com os alcances, partindo-se das amostras, encontra-se a dependência espacial da coordenada Z (altitudes) entre os dados amostrados.**

**Outra observação que cabe ressaltar é que quanto mais próximo do centro dos raios se apresentam as amostras, maior é a possibilidade de semelhança entre elas, ou seja a possibilidade de terem a mesma altitude.**

**Para os dados de altitude de 1999, os alcances (a) para as diferentes malhas apresentam uma variabilidade de 500,85 a 1313,10, entretanto deve-se perceber que somente os dados de 1999\_10 aparecem com um fator discrepante de 500,85, todos os outros valores giram em torno de 1002,70 a 1313,10. Dessa forma, deve-se considerar que o valor discrepante do alcance de 500,85 é resultado do comportamento irregular dos dados amostrais.**

**Para os dados altimétricos de 2000, os alcances para as diferentes malhas apresentaram a menor variabilidade 1071,90 a 1425 e tendo três produtos cartográficos (2000\_50, 2000\_5 e 2000\_20) o mesmo valor de 1110.**

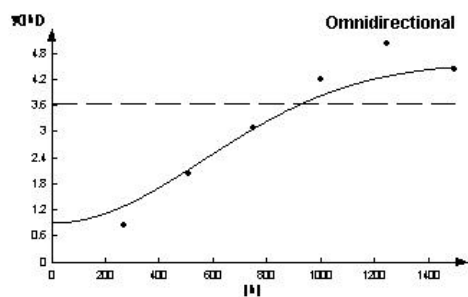
**Nas Figuras 4.10, 4.11 e 4.12 são mostrados os modelos ajustados aos semivariogramas experimentais construídos através do estimador de Matheron para cada malha dos dados provenientes dos anos de 1990, 1999 e 2000.**

**Os mapas compreendidos nas Figuras 4.13 a 4.18, 4.20, 4.21 e 4.23 a 4.30, gerados a partir dos parâmetros e modelos teóricos ajustados e apresentados nas Tabelas 4.9, 4.10 e 4.11, possuem entre si uma diferença muito pequena, conseqüentemente apresentam uma característica gráfica comum. Entretanto, os mapas apresentados nas Figuras 4.19 e 4.22, correspondendo aos dados de 1999\_100 e 1999\_10 apresentaram uma representação gráfica questionável, ou**

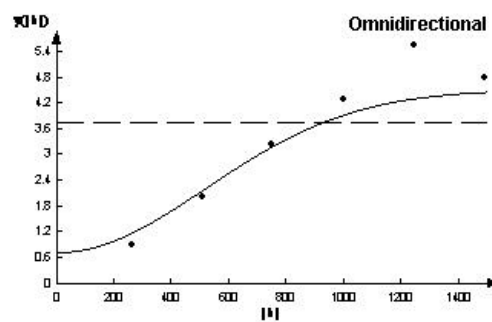
**seja diferenciada dos outros 16 mapas. Essa diferença pode ser confirmada pelo alcance, conforme pode ser verificado na Tabela 4.10.**

**A semelhança existente entre os mapas de 1990 e 1999 ocorreu em virtude de terem sido gerados por meio de uma mesma metodologia, ou seja, através do sistema fotogramétrico analítico. Ainda deve ser considerado fator relevante para a coincidência dos mapas, a sistemática idêntica de desenvolvimento do trabalho para os dois produtos cartográficos, bem como os anos de experiência do usuário do sistema fotogramétrico.**

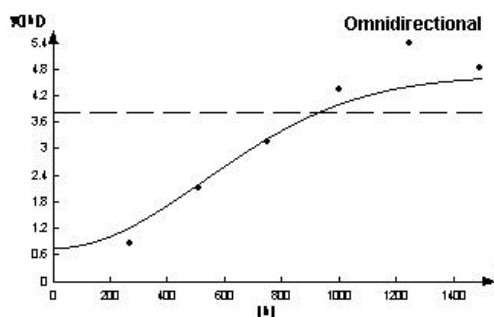




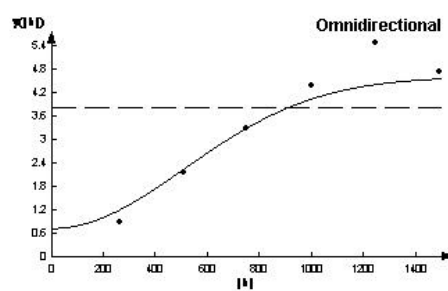
1990\_100m



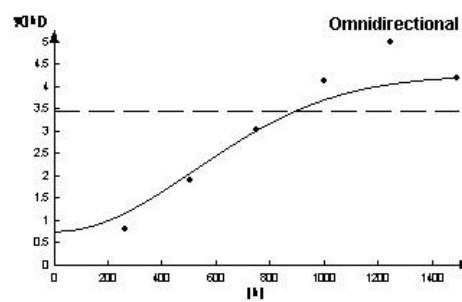
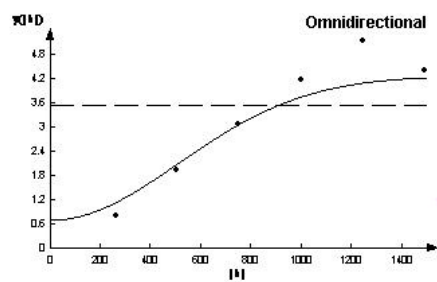
1990\_50m



1990\_20m



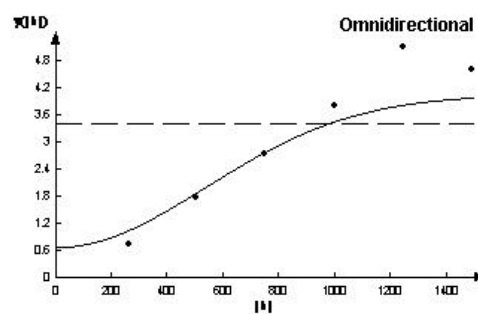
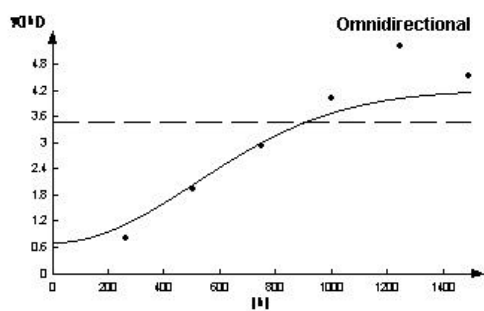
1990\_10m



1990\_5m

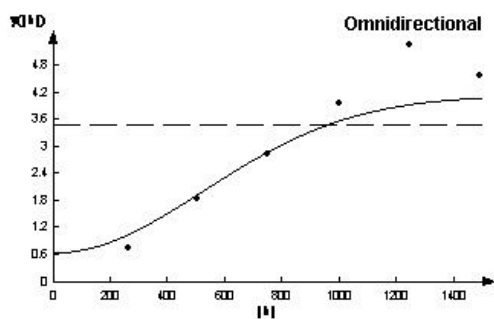
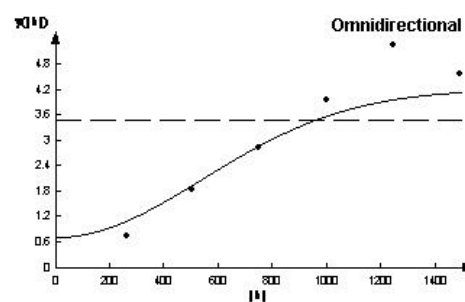
1990\_2m

Figura 4.10 - Estrutura de dependência espacial para os dados de 1990.



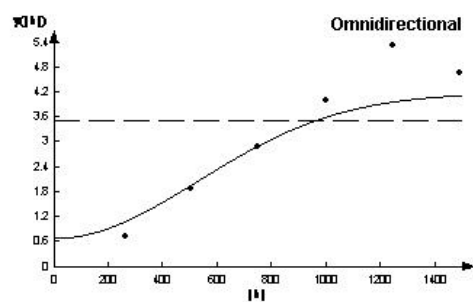
1999\_100m

1999\_50m

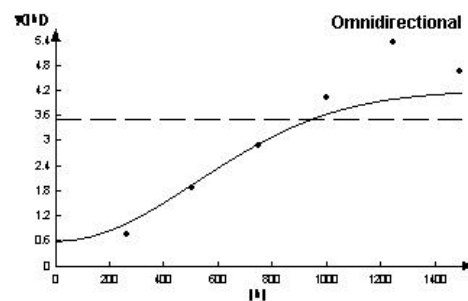


1999\_20m

1999\_10m

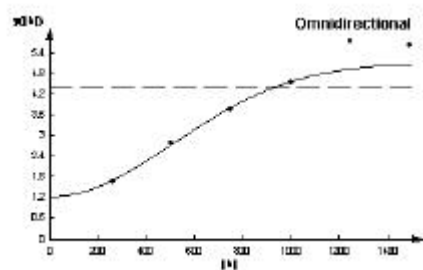


1999\_5m

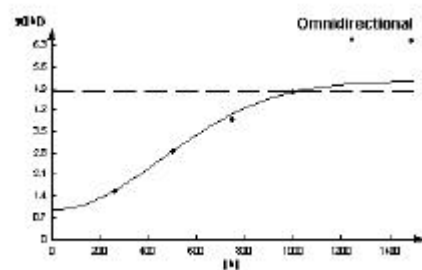


1999\_2m

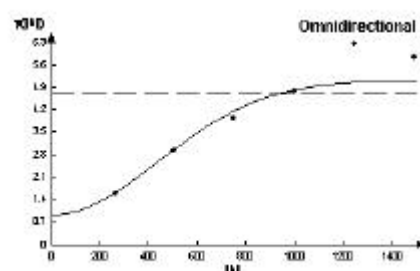
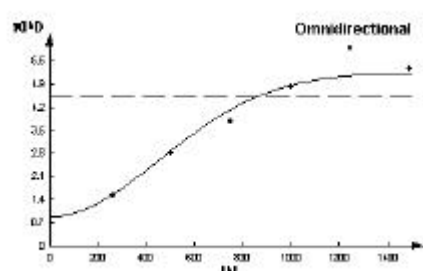
Figura 4.11 - Estrutura de dependência espacial para os dados de 1999.

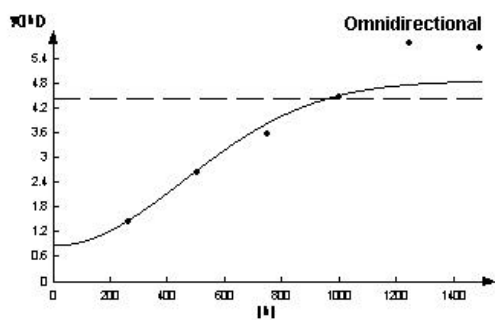


2000\_100m



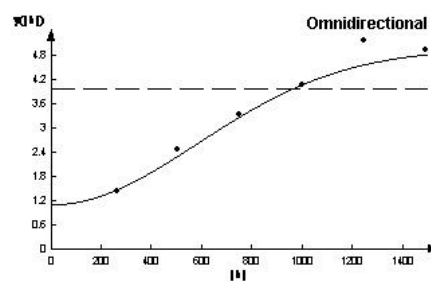
2000\_50m





2000\_20m

2000\_10m



2000\_5m

2000\_2m

Figura 4.12 - Estrutura de dependência espacial para os dados de 2000.

Figura 4.13 - Mapa 01 de 1990\_100m

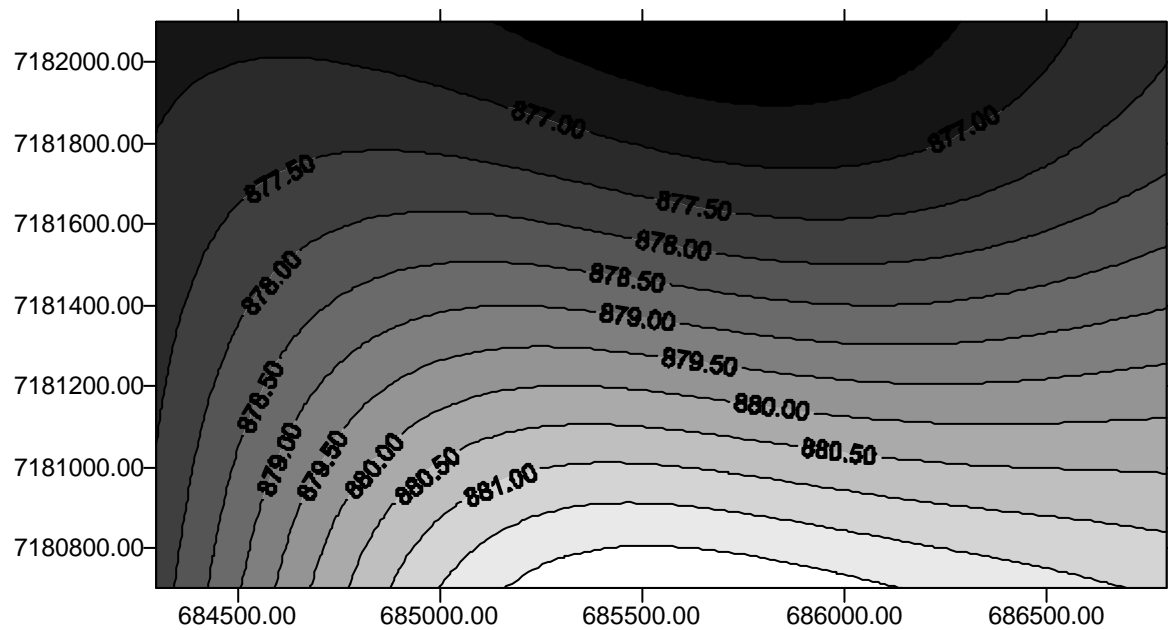


Figura 4.14 - Mapa 02 de 1990\_50m

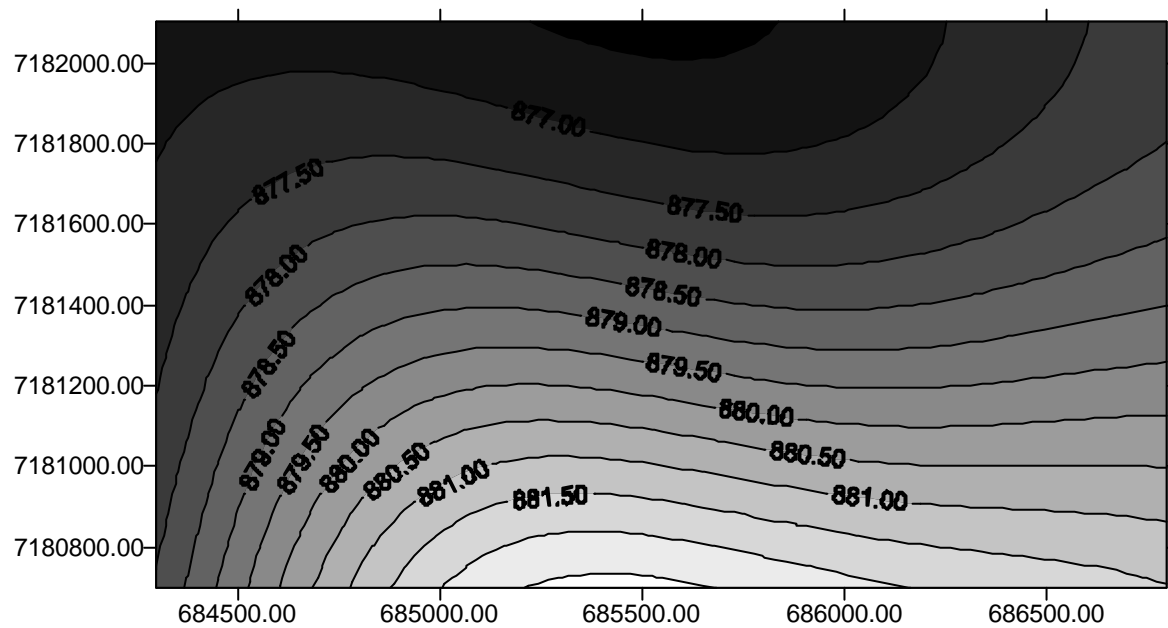


Figura 4.15 - Mapa 03 de 1990\_20m

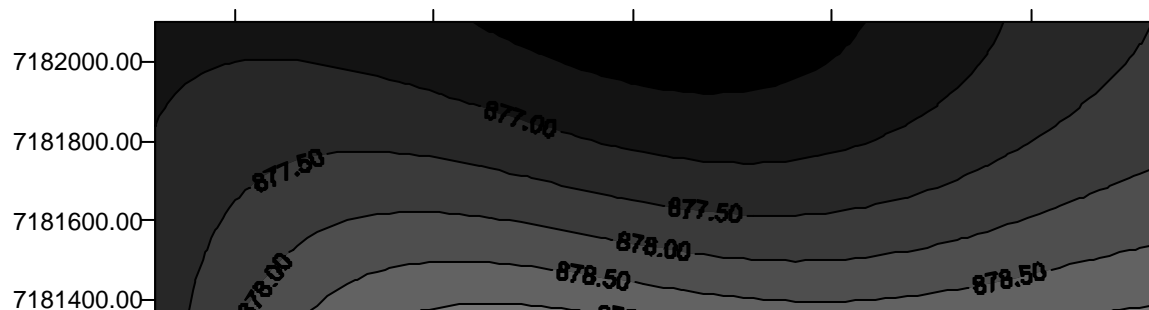


Figura 4.16 - Mapa 04 de 1990\_10m

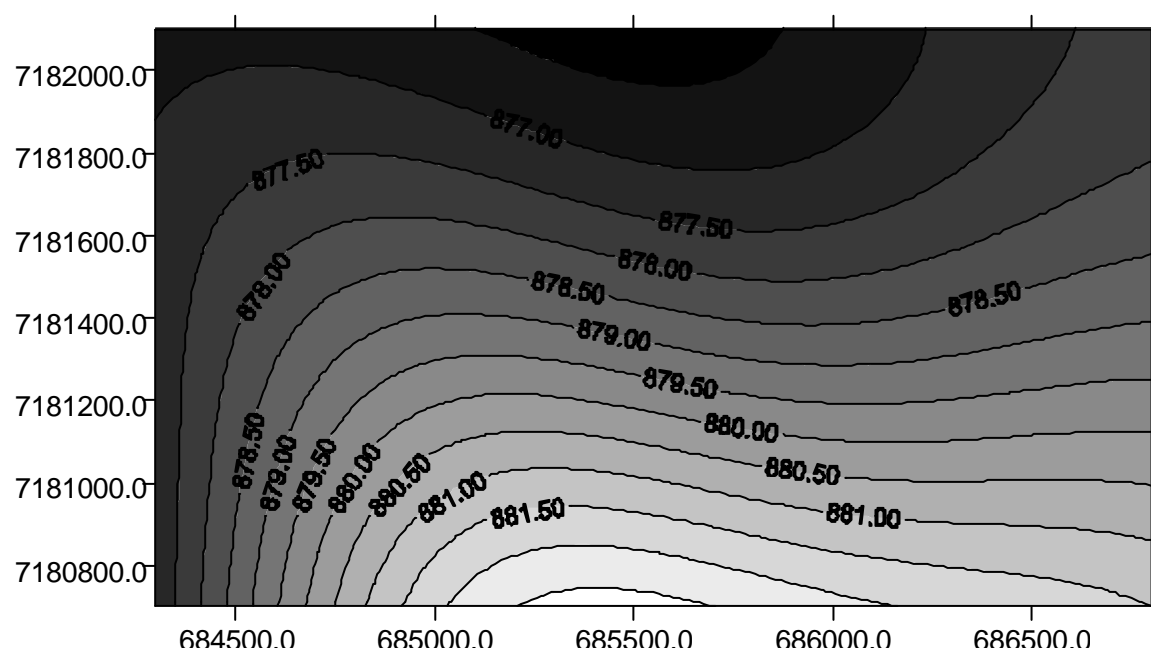


Figura 4.17 - Mapa 05 de 1990\_5m

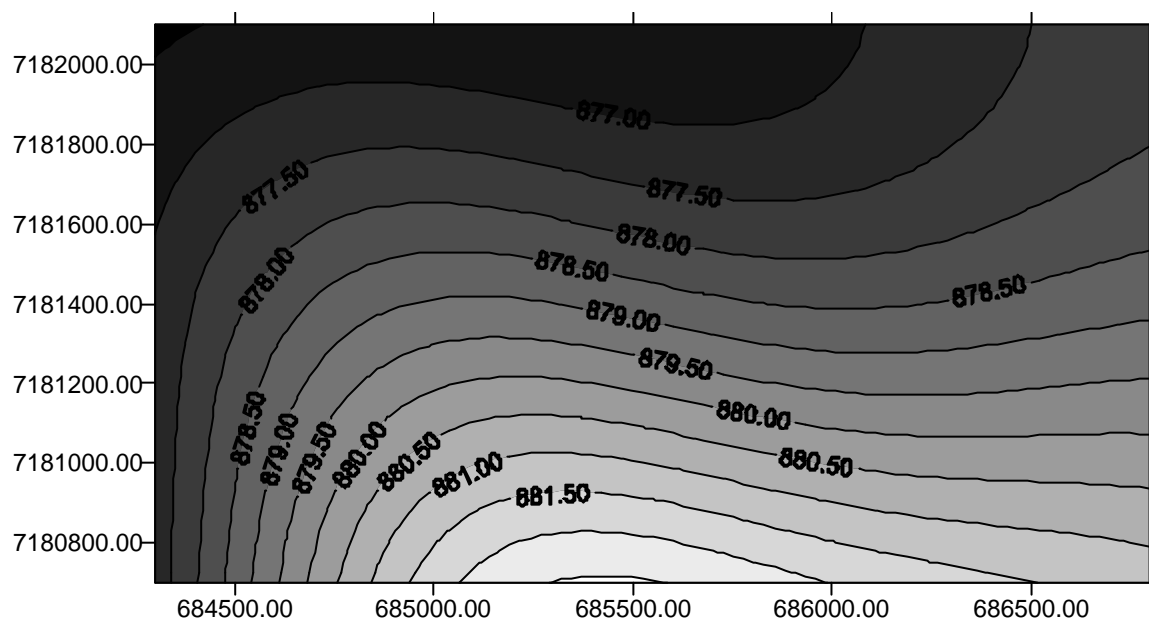


Figura 4.18 - Mapa 06 de 1990\_2m

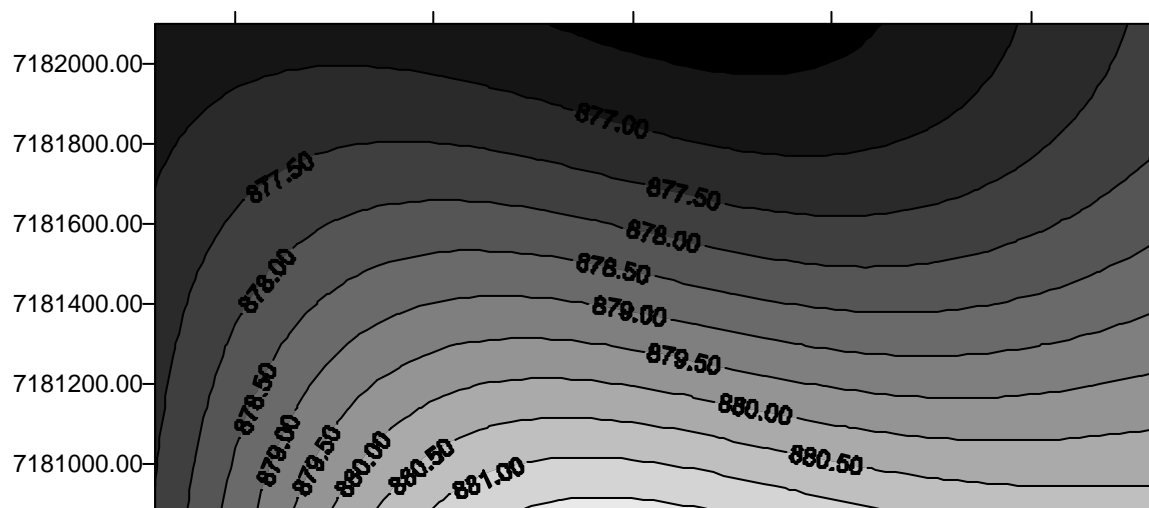


Figura 4.19 - Mapa 07 de 1999\_100m

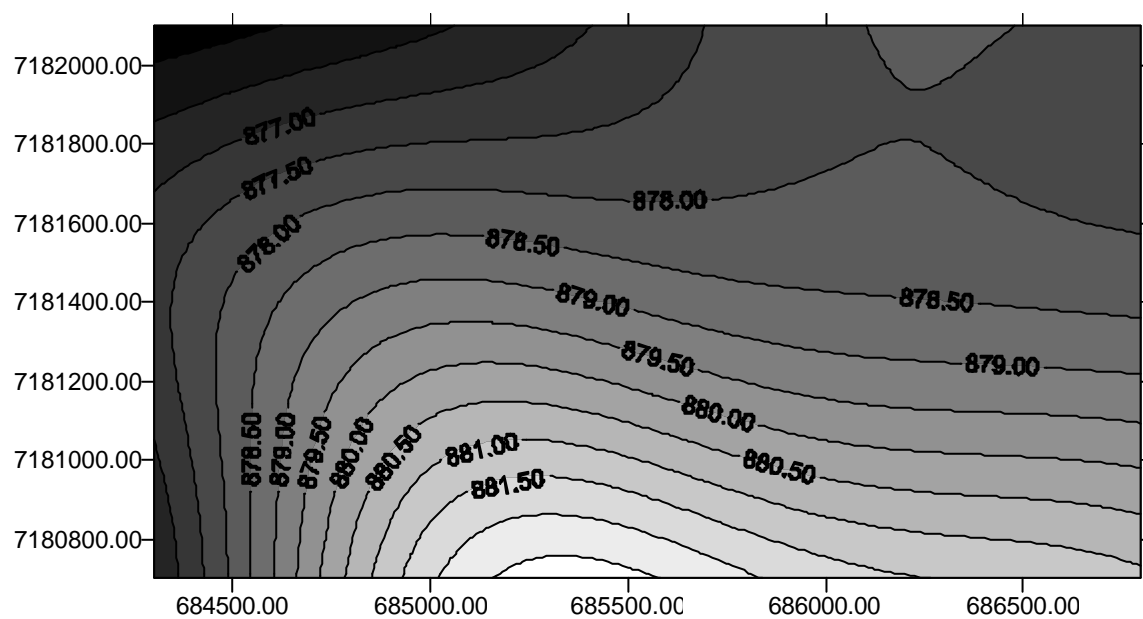




Figura 4.20 - Mapa 08 de 1999\_50m

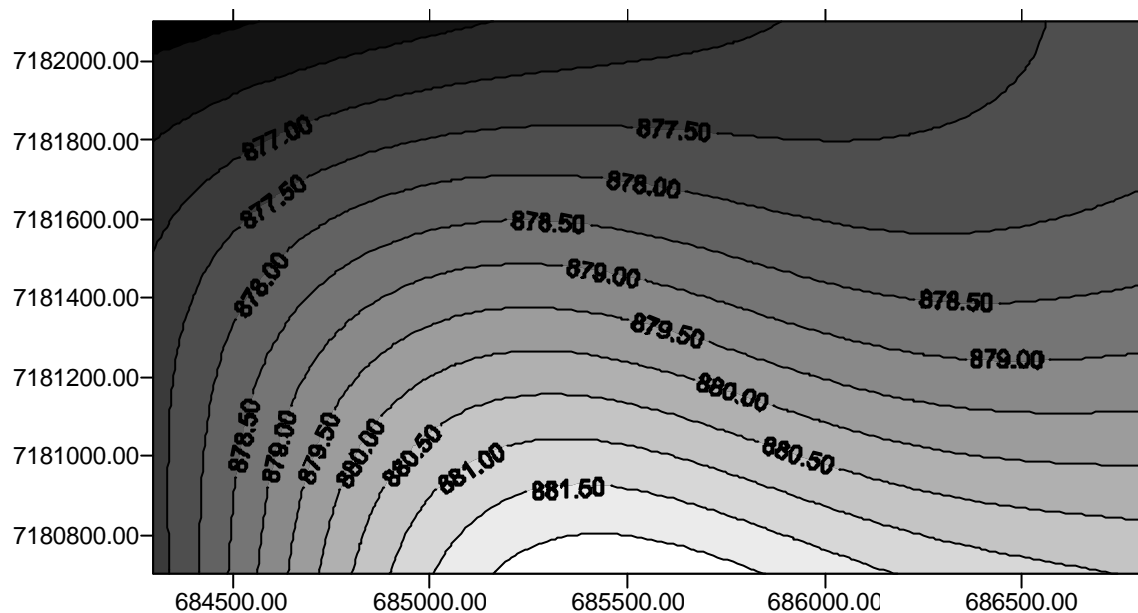


Figura 4.21 - Mapa 09 de 1999\_20m

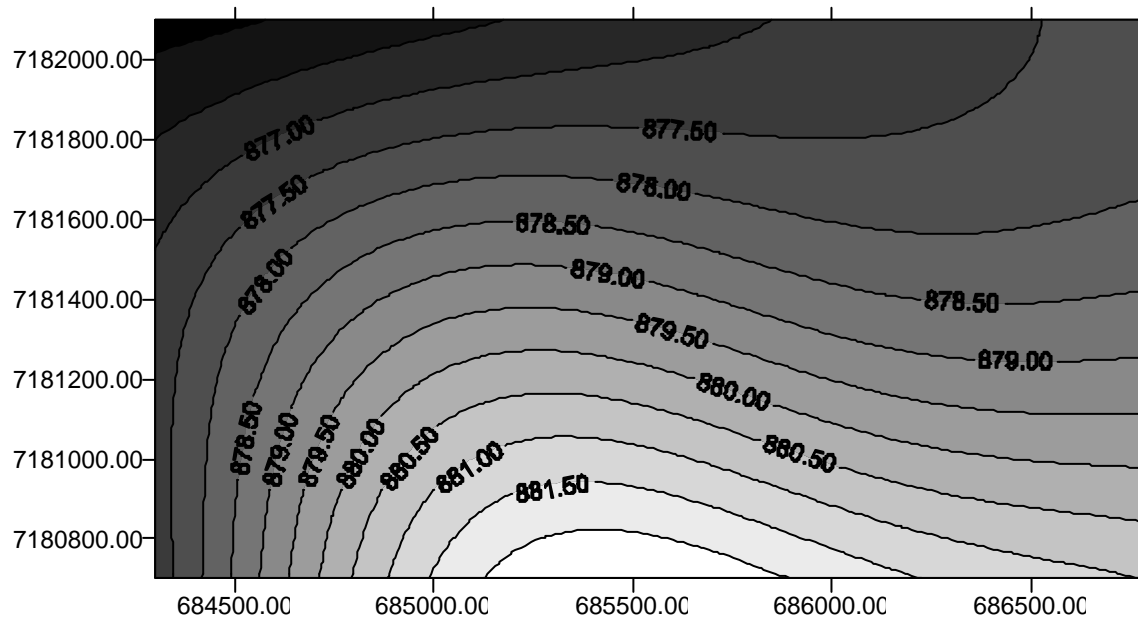


Figura 4.22 - Mapa 10 de 1999\_10m

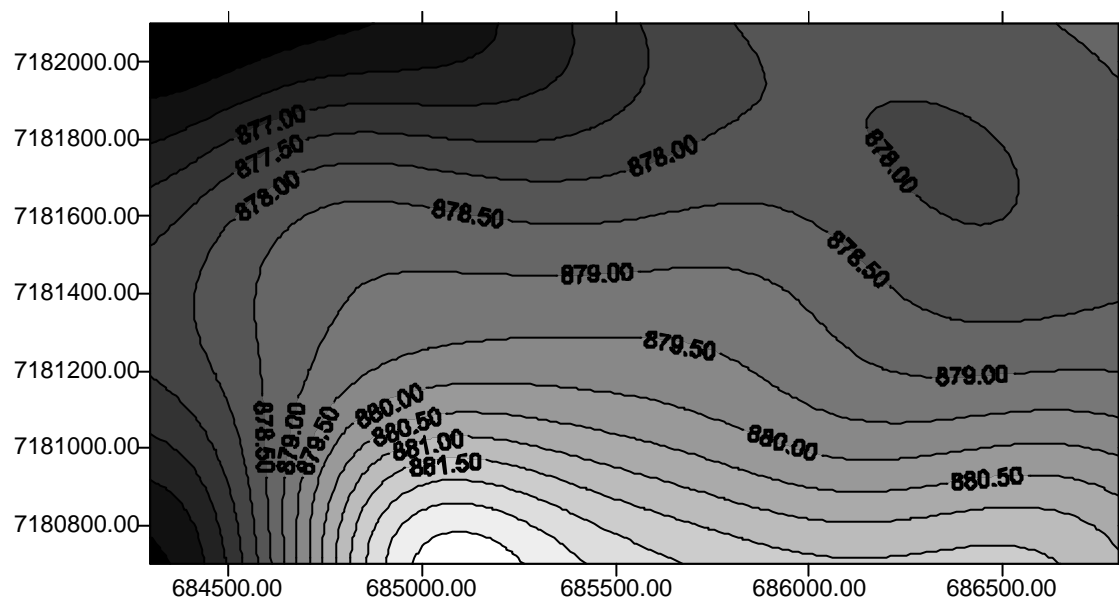


Figura 4.23 - Mapa 11 de 1999\_5m

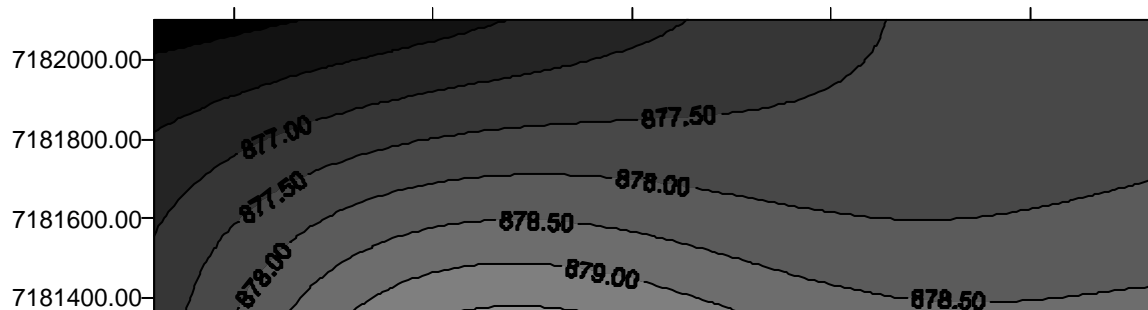


Figura 4.24 - Mapa 12 de 1999\_2m

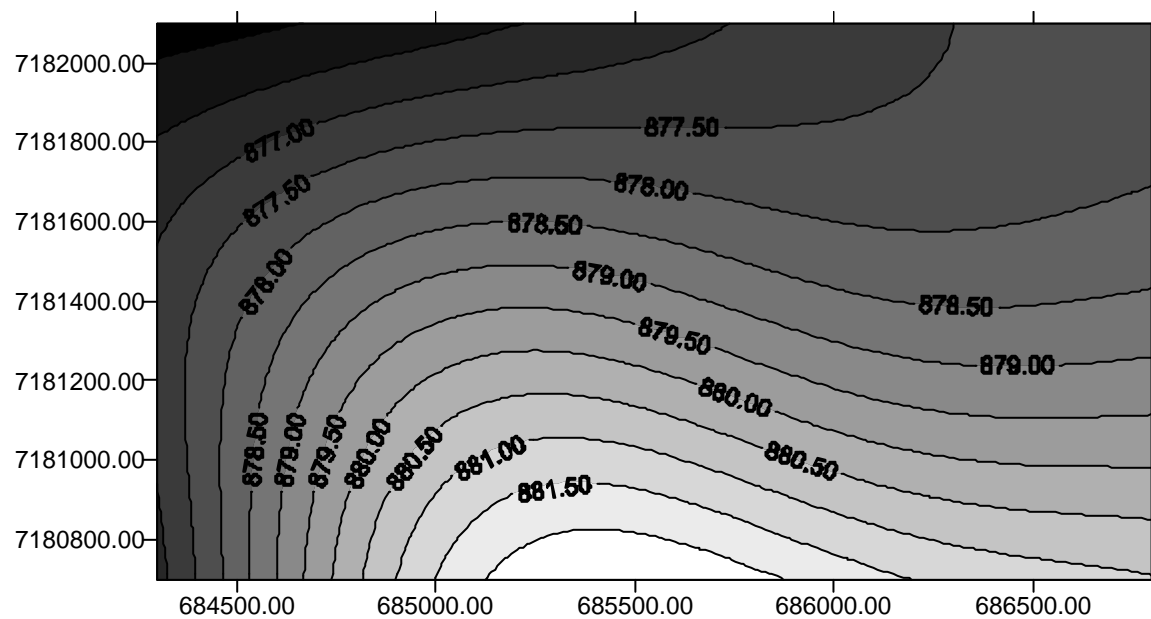


Figura 4.25 - Mapa 13 de 2000\_100m

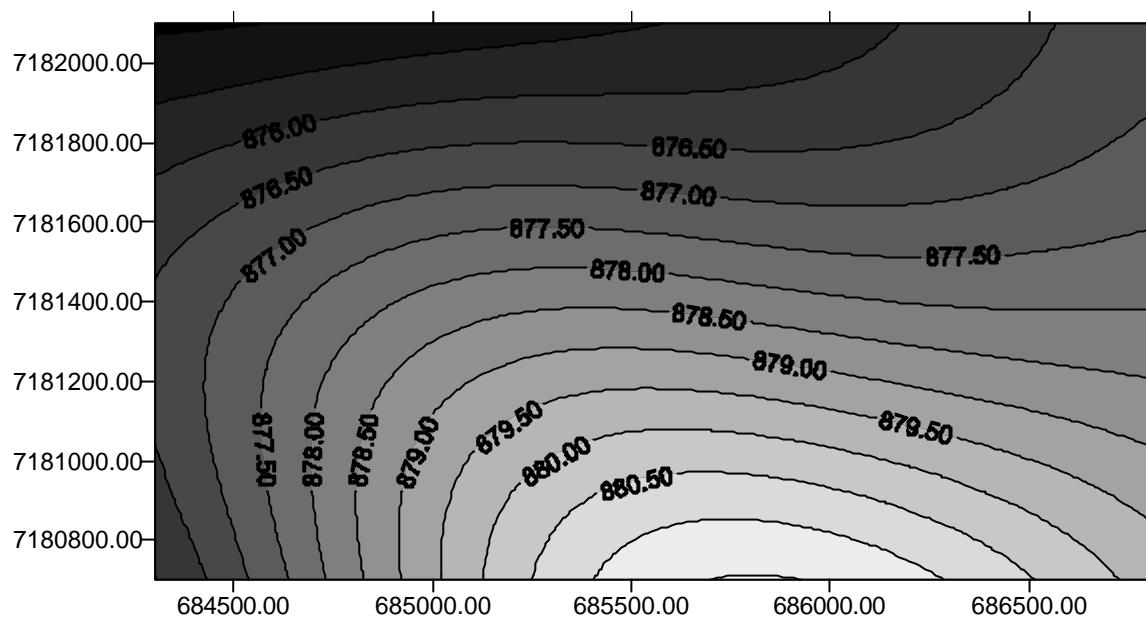


Figura 4.26 - Mapa 14 de 2000\_50m

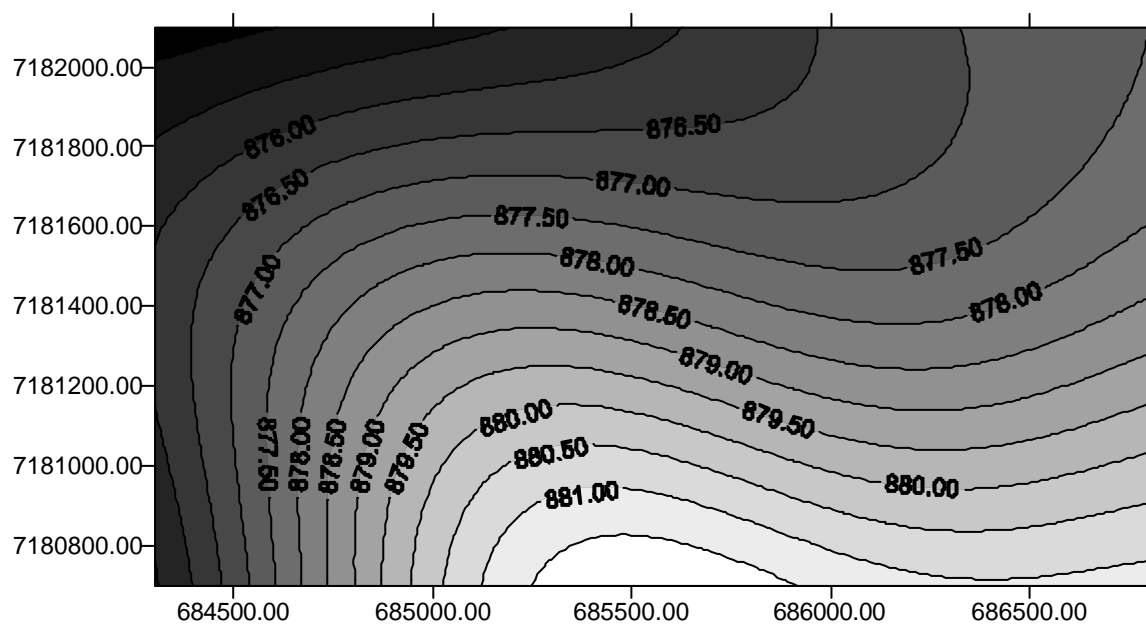


Figura 4.27 - Mapa 15 de 2000\_20m

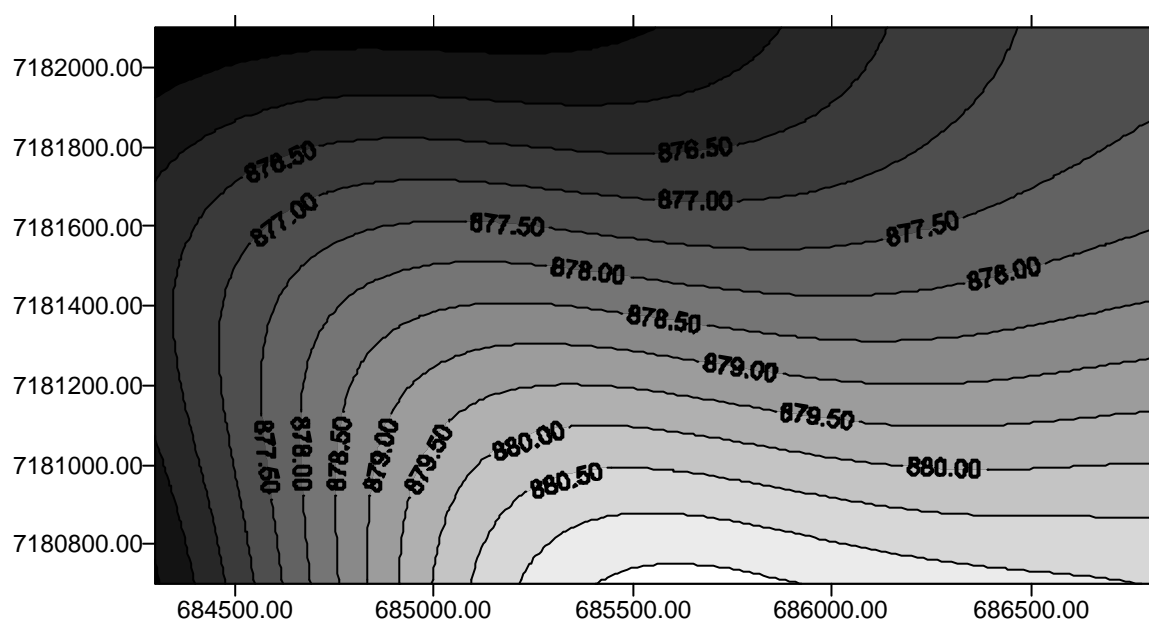


Figura 4.28 - Mapa 16 - 2000\_10m

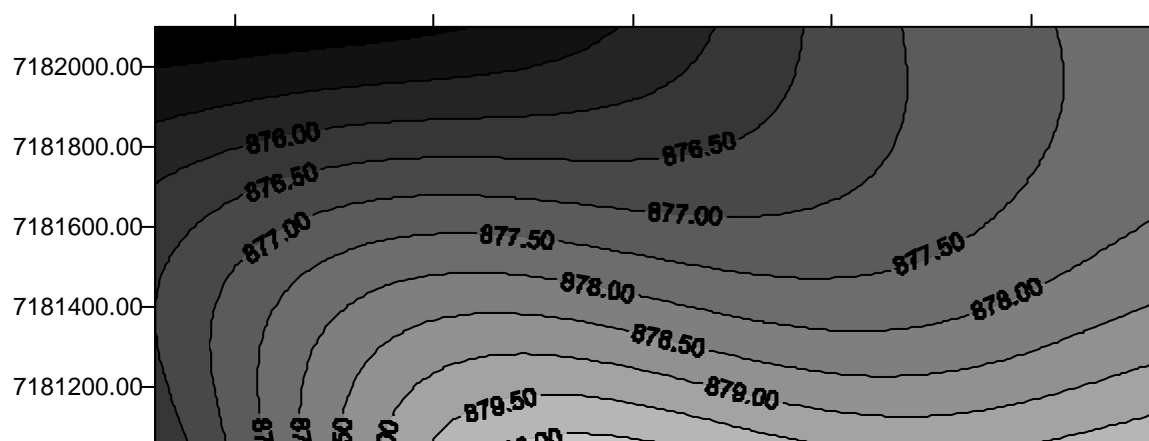


Figura 4.29 - Mapa 17 de 2000\_5m

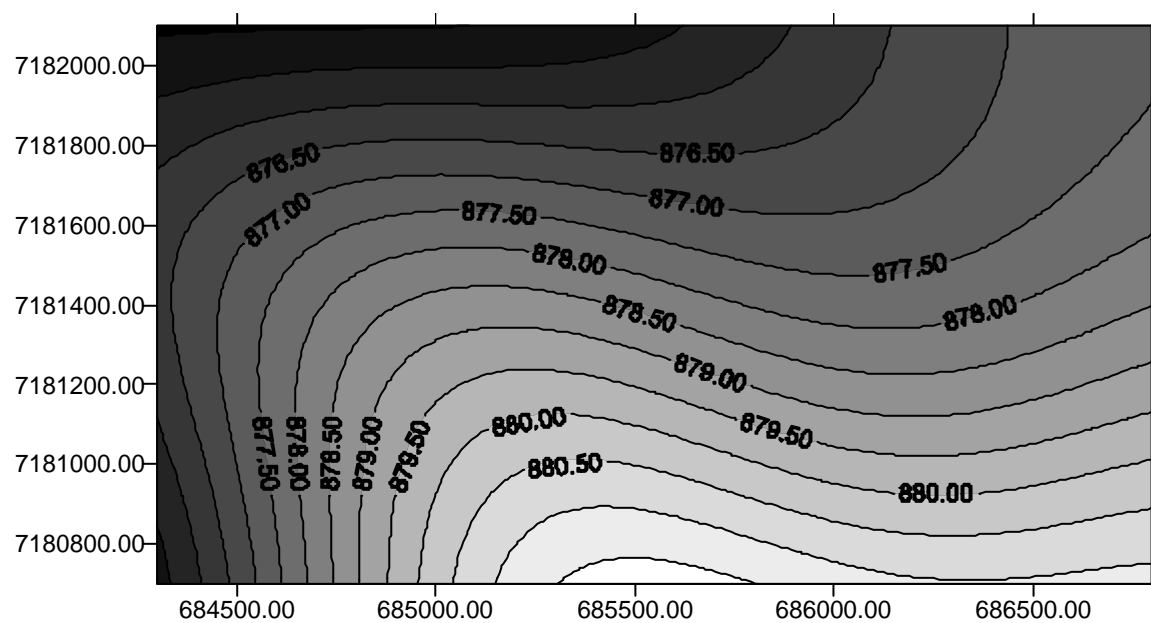
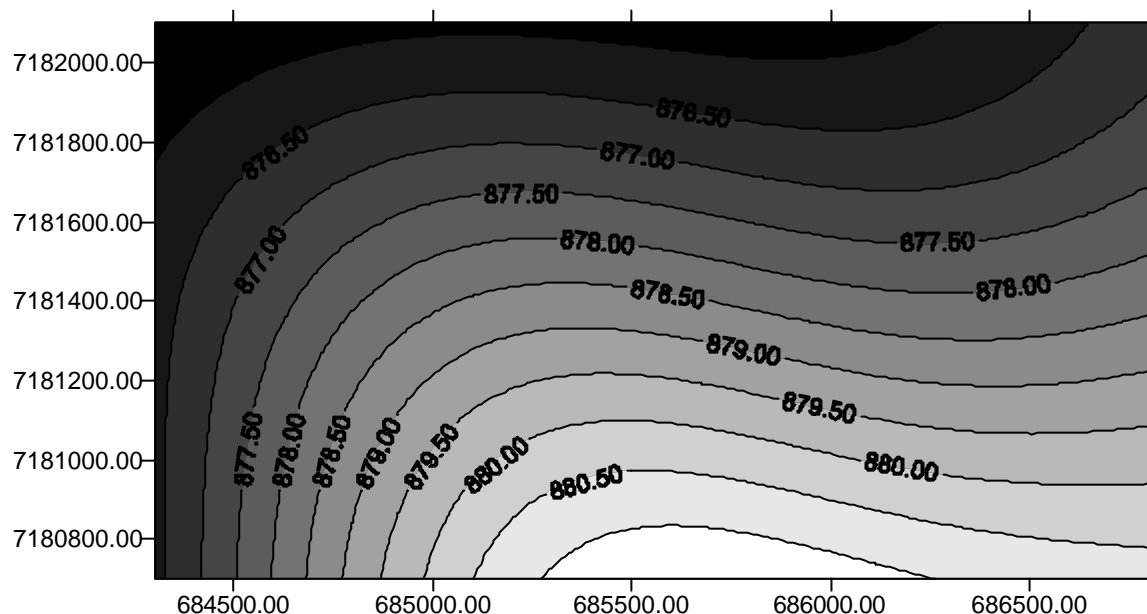


Figura 4.30 - Mapa 18 de 2000\_2m



#### 4.5.3 – Análise Geoestatística para os dados Aerotriangulados

Existem os dados provenientes do produto de 2000\_aerotri, ou seja os 80 pontos amostrais lidos nas malhas com resoluções de 100x100m, 50x50m, 20x20m, 10x10m, 5x5m e 2x2m, geradas a partir dos dados vindos dos 200 pontos da aerotriangulação que sustentaram a geração das malhas.

Considerando o uso da estatística para verificação da normalidade da distribuição de probabilidade ou seja, através da aplicação dos testes de normalidade de Anderson Darling (p-valor), Shapiro Wilk (p-valor) ou Jones,

pode-se afirmar que nenhuma resolução referente a este produto cartográfico atingiu como resultado a normalidade, conforme verifica-se na Tabela 4.12. Portanto, foi necessário para o estudo da dependência espacial dos dados, nas diferentes malhas, através do uso do semivariograma de Cressie e Hawkins (1980) e da equação 6, o uso do software Idrisi 32 (Eastman, 1999).

**Tabela 4.12** – Resultado após verificação da dependência espacial nos dados de 2000\_aerotriangulados

<b>ESTATÍSTICAS</b>	<b>2000 aerotri- 100</b>	<b>2000 aerotri- 50</b>	<b>2000 aerotri- 20</b>	<b>2000 aerotri- 10</b>	<b>2000 aerotri- 5</b>	<b>2000 aerotri- 2</b>
Número de casos	79	80	79	80	80	73
Mínimo	666,690	652,170	652,170	686,940	652,170	153,310
Primeiro Quartil (Q1)	877,720	877,060	877,030	877,163	877,519	871,385
Mediana	878,990	878,780	878,990	878,880	878,995	878,000
Terceiro Quartil (Q3)	881,150	880,497	880,610	880,692	880,283	880,210
Máximo	886,120	883,940	886,120	886,120	883,120	889,940
Média	867,547	864,017	861,472	870,648	863,783	836,143
Desvio Padrão	47,714	49,339	53,874	35,393	52,236	118,621
Assimetria	-3,66033	-3,28370	-2,95025	-4,28563	-3,23649	-3,73315
Curtose	12,5861	9,85529	7,49615	17,9218	9,13976	16,4372
Shapiro Wilk p-valor	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Anderson Darling p-valor	0	0	0	0	0	0
Coefficiente de Variação – CV (%)	549,987	571,042	625,371	406,513	604,735	1418,668

Através do software Idrisi 32, usando-se o Estimador Robusto de Cressie e Hawkins os dados referentes a 2000 provenientes da aerotriangulação foram estudados de forma a gerar a sua dependência espacial. Os resultados obtidos a partir da modelagem encontram-se na Tabela 4.13.

**Tabela 4.13** – Resultado após uso do software Idrisi, usando o estimador Robusto de Cressie e Hawkins

<b>Variáveis</b>	<b>aerotri2000_100</b>	<b>aerotri2000_50</b>	<b>aerotri2000_20</b>	<b>aerotri2000_10</b>	<b>aerotri2000_5</b>	<b>aerotri2000_2</b>
<b>C<sub>0</sub> – Efeito Pepita</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>0,1</b>	<b>0,7</b>	<b>1</b>	<b>160</b>
<b>a - Alcance</b>	<b>700</b>	<b>600</b>	<b>800</b>	<b>700</b>	<b>700</b>	<b>700</b>



<b>C<sub>1</sub> – Contribuição</b>	<b>40</b>	<b>78</b>	<b>115</b>	<b>63</b>	<b>61</b>	<b>560</b>
<b>Modelo</b>	<b>Gaussiano</b>	<b>Gaussian</b>	<b>Gaussian</b>	<b>Gaussian</b>	<b>Gaussian</b>	<b>Gaussian</b>
		<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>	<b>o</b>
<b>C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub> - Patamar</b>	<b>46</b>	<b>79</b>	<b>115,1</b>	<b>63,7</b>	<b>62</b>	<b>720</b>
<b>EPR = C<sub>0</sub>/(C<sub>0</sub>+C<sub>1</sub>)</b>	<b>0,13043</b>	<b>0,01266</b>	<b>0,00086</b>	<b>0,10989</b>	<b>0,01613</b>	<b>0,22222</b>

Na Figura 4.31 apresentam-se os semivariogramas experimentais construídos através do estimador robusto de Cressie e Hawkins para cada uma das 6 malhas 3D dos dados provenientes da aerotriangulação de 2000.

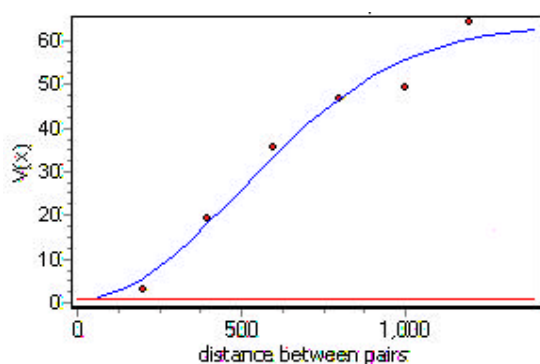
Os mapas compreendidos entre as Figuras 4.32 a 4.37 gerados a partir dos modelos geoestatísticos apresentam-se completamente diferentes entre si. Essas diferenças também podem ser verificadas através dos valores diferenciados de contribuição (C<sub>1</sub>) apresentados na Tabela 4.13, uma vez que varia de 40 a 560.

**Com relação ao alcance determinado para os dados de 2000 aerotriangulados, pôde-se perceber através da Tabela 4.13 que a variabilidade foi entre 600 a 800, assim imaginando-se raios com dimensões médias de acordo com os alcances, partindo-se das amostras, encontra-se a dependência espacial da coordenada Z (altitudes) entre os dados amostrados.**

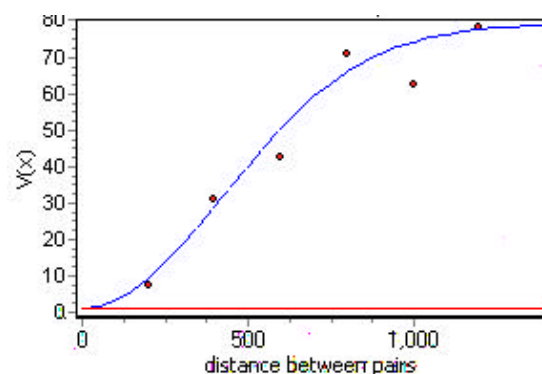
**Cabe ressaltar ainda que quanto mais próximo do centro dos raios estiver a amostra, maior será a possibilidade de semelhança entre elas, ou seja a possibilidade de terem a mesma altitude.**

O EPR – efeito pepita relativo, também é um indicador que deve ser considerado para se verificar a diferença entre os mapas, para os dados de 2000 aerotriangulados, a partir dele percebe-se que nenhum valor é igual ou próximo, portanto os mapas não devem ser iguais, conforme se comprovou.

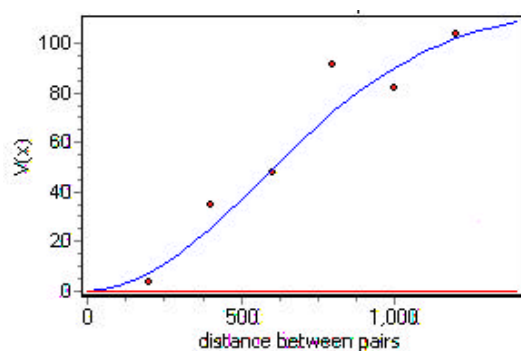
A discrepância existente entre os mapas, para os dados de 2000 aerotriangulados já era previamente esperada, isso em virtude da inconsistência dos dados, ou seja, da quantidade insuficiente de dados 3D que pudessem representar a superfície, bem como da sua distribuição espacial inadequada. Portanto, em hipótese nenhuma, para este trabalho, os dados de entrada, ou seja os 200 pontos aerotriangulados, adquiridos no processo de aerotriangulação da metodologia fotogramétrica digital poderiam ser utilizados para a geração de uma superfície 3D.



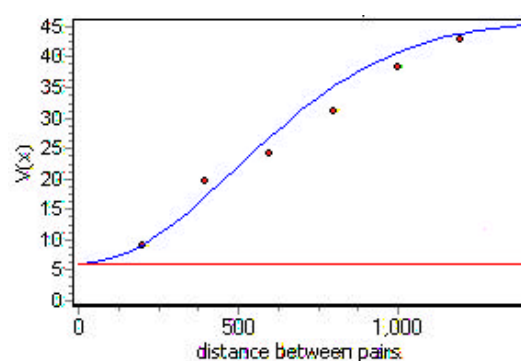
2000\_aerotriangulado\_100



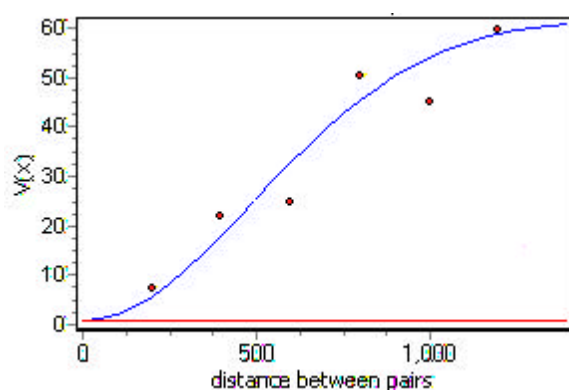
2000\_aerotriangulado\_50



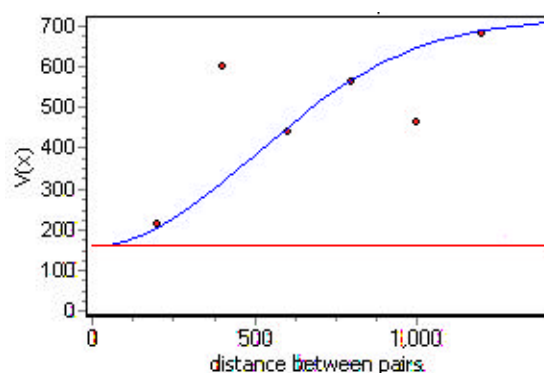
2000\_aerotriangulado\_20



2000\_aerotriangulado\_10



2000\_aerotriangulado\_5



2000\_aerotriangulado\_2

Figura 4.31 - Estrutura de dependência espacial para os dados de 2000 da aerotriangulação.

Figura 4.32 - Mapa 19 de 2000aerotri\_100

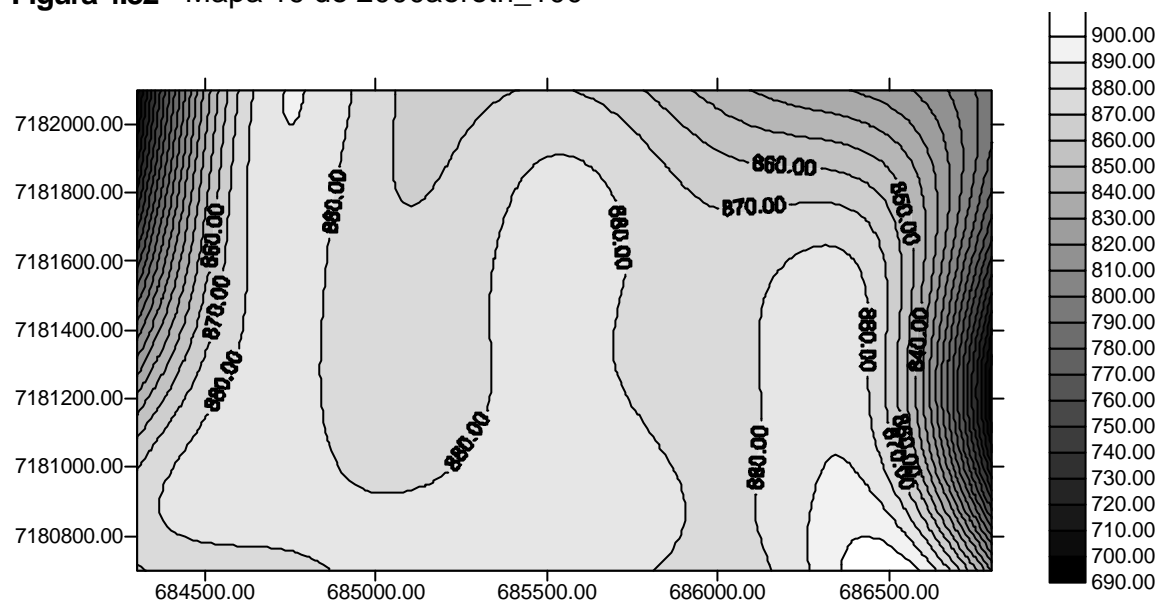
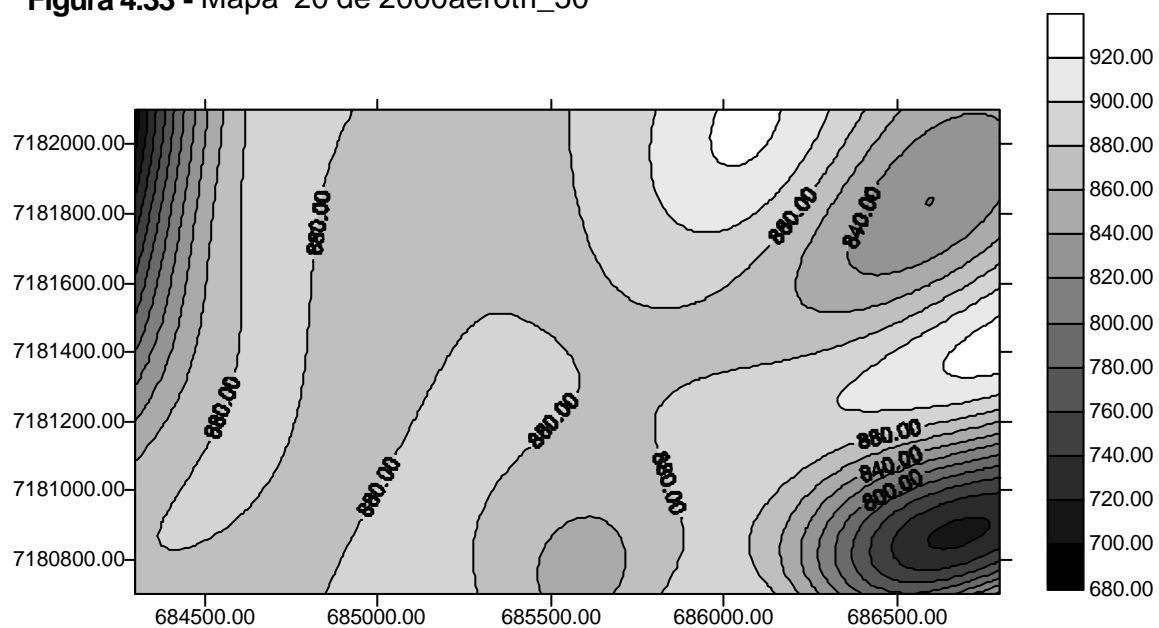


Figura 4.33 - Mapa 20 de 2000aerotri\_50



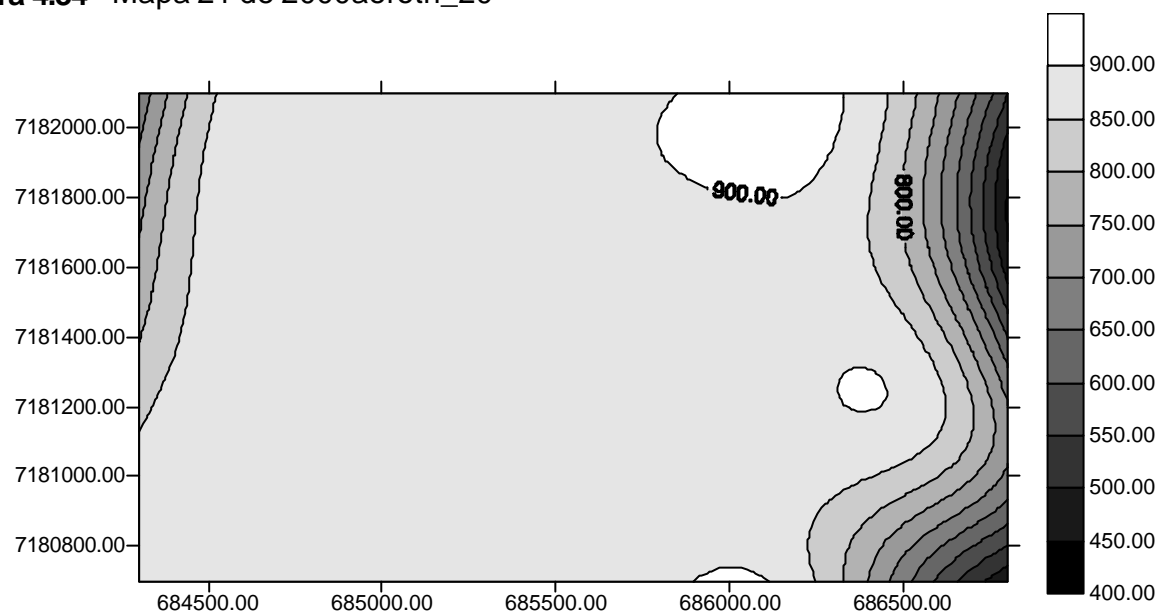
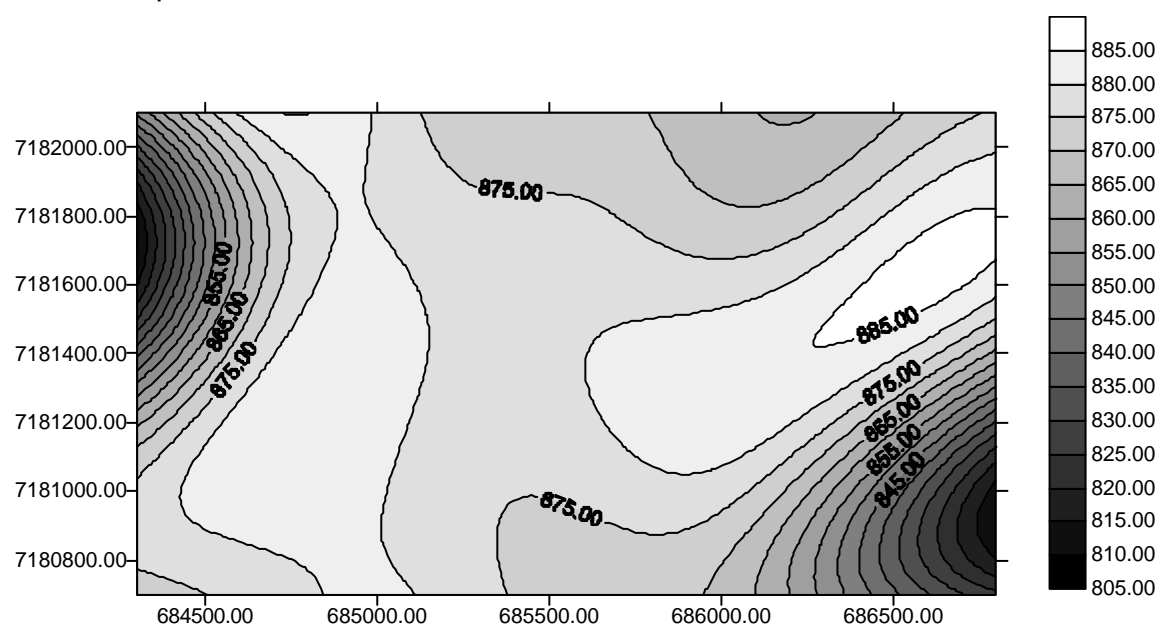
**Figura 4.34** - Mapa 21 de 2000aerotri\_20**Figura 4.35** - Mapa 22 de 2000aerotri\_10

Figura 4.36 - Mapa 23 de 2000aerotri\_5

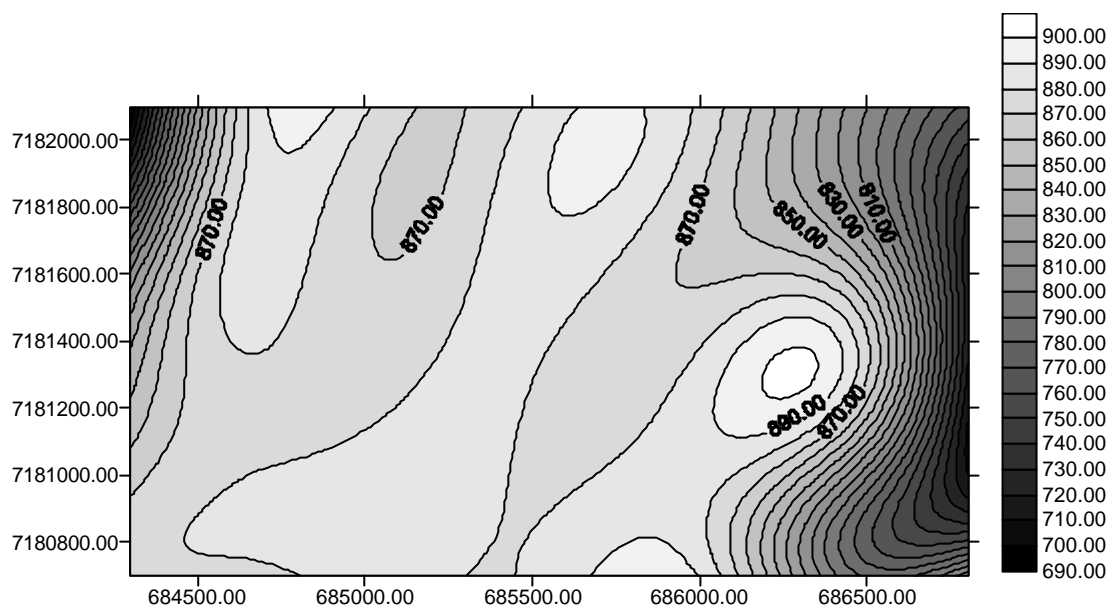
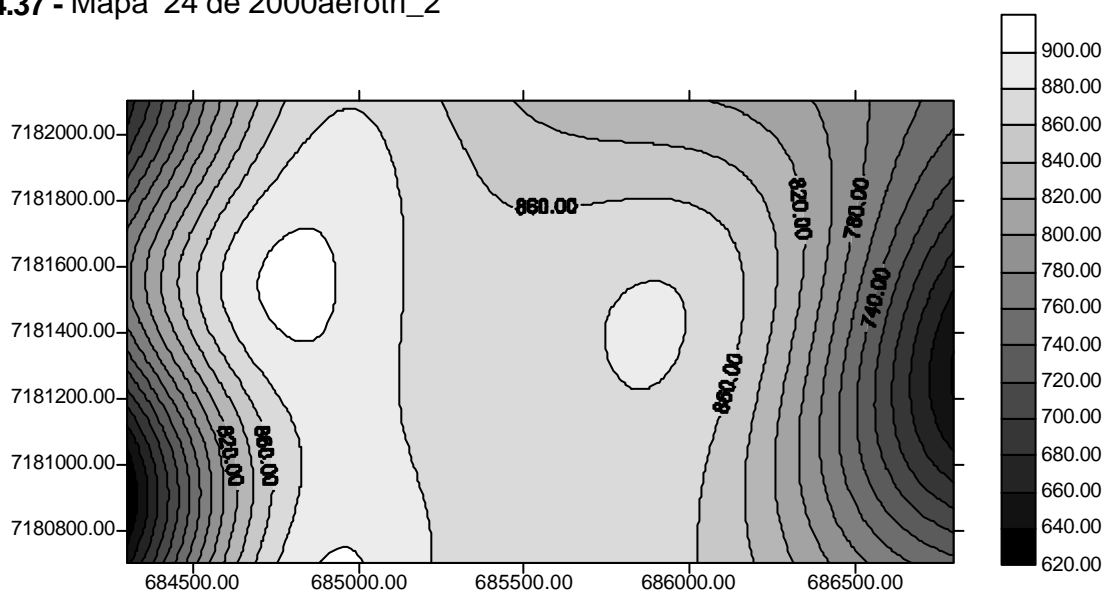


Figura 4.37 - Mapa 24 de 2000aerotri\_2



#### 4.5.4 – Análise dos Dados Altimétricos Considerando a Legislação Cartográfica Brasileira

Segundo o Diário Oficial da União publicado no dia 20 de junho de 1984, através do decreto nº 89.817, estabelece as Instruções Reguladoras de Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

No artigo 8º deste decreto, a classificação das cartas quanto à sua exatidão deve obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC, que é descrito a seguir:

1. *Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico – Planimétrico estabelecido.*
2. *Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfico – Altimétrico estabelecido.*

**O PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos. A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão ( $PEC = 1,6449 * EP$ ).**

Portanto, considera-se equivalente as expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático.

O artigo 9º do mesmo decreto estabelece que as cartas são classificadas, segundo sua exatidão, nas classes A, B e C, considerando os seguintes critérios:

##### **Carta Classe A**

1. *Padrão de Exatidão Cartográfico – Planimétrico: 0,5mm na escala da carta, sendo de 0,3mm na escala da carta o Erro- Padrão correspondente.*
2. *Padrão de Exatidão Cartográfico – Altimétrico: metade da eqüidistância entre as curvas de nível, sendo de um terço o Erro-Padrão correspondente.*

#### **Carta Classe B**

1. *Padrão de Exatidão Cartográfico – Planimétrico: 0,8mm na escala da carta, sendo de 0,5mm na escala da carta o Erro- Padrão correspondente.*
2. *Padrão de Exatidão Cartográfico – Altimétrico: três quintos da eqüidistância entre as curvas de nível, sendo de dois quintos o Erro-Padrão correspondente.*

#### **Carta Classe C**

1. *Padrão de Exatidão Cartográfico – Planimétrico: 1,0mm na escala da carta, sendo de 0,6mm na escala da carta o Erro- Padrão correspondente.*
2. *Padrão de Exatidão Cartográfico – Altimétrico: três quartos da eqüidistância entre as curvas de nível, sendo de metade desta eqüidistância o Erro-Padrão correspondente.*

Convencionalmente, a análise da exatidão de um ponto é feita pela comparação entre pontos no terreno e seus homólogos, representados no mapa.

No desenvolvimento deste trabalho não foram levantados a campo pontos com GPS que permitissem verificar a acuracidade dos 24 produtos cartográficos, portanto utilizou-se como referência os 80 pontos amostrais determinado em cada produto e trabalhou-se com a média existente entre eles.



Dessa forma, partindo-se do pressuposto da verificação da diferença entre pontos homólogos, foi analisada para o ano de 1990 a discrepância existente entre as médias existente para cada um dos produtos cartográficos, ou seja 1990\_100, 1990\_50, 1990\_20, 1990\_10, 1990\_5 e 1990\_2, conforme mostrado na Tabela 4.14.

Tabela 4.14 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos de 1990

Média dos Produtos Cartográficos de 1990	Discrepância (m)
1990_100 x 1990_10	- 0,059
1990_100 x 1990_50	- 0,147
1990_100 x 1990_5	0,630
1990_100 x 1990_20	- 0,040
1990_100 x 1990_2	0,032
1990_10 x 1990_50	- 0,088
1990_10 x 1990_5	0,122
1990_10 x 1990_20	0,019
1990_10 x 1990_2	0,091
1990_50 x 1990_5	0,210
1990_50 x 1990_20	0,107
1990_50 x 1990_2	0,179
1990_5 x 1990_20	- 0,103
1990_5 x 1990_2	- 0,031
1990_20 x 1990_2	0,072

Como os mapas foram todos gerados objetivando-se chegar a um produto cartográfico com qualidade geométrica referente a escala 1:2000. Segundo a legislação cartográfica o erro altimétrico permitido para se obter um produto classe A seria de no máximo 50cm, uma vez que para a escala de 1:2000 prevalece a eqüidistância entre as curvas de nível de 1m.

Verifica-se na Tabela 4.14 que somente a relação “1990\_100 x 1990\_5” extrapolou a condição de carta classe A, entretanto se adequaria plenamente a carta classe B.

Fazendo a mesma analogia de análise para os produtos cartográficos de 1999, chegou-se aos resultados apresentados na Tabela 4.15.

Tabela 4.15 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos de 1999

Média dos Produtos Cartográficos de 1999	Discrepância (m)
1999_100 x 1999_10	- 0,018
1999_100 x 1999_50	0,019
1999_100 x 1999_5	- 0,018
1999_100 x 1999_20	- 0,006
1999_100 x 1999_2	- 0,002
1999_10 x 1999_50	0,370
1999_10 x 1999_5	0,000
1999_10 x 1999_20	0,012
1999_10 x 1999_2	0,016
1999_50 x 1999_5	- 0,037
1999_50 x 1999_20	- 0,025
1999_50 x 1999_2	- 0,021
1999_5 x 1999_20	0,012
1999_5 x 1999_2	0,016
1999_20 x 1999_2	0,004

Considerando a mesma equidistância entre as curvas de nível para um produto na escala 1:2000, percebe-se que segundo a legislação cartográfica o limiar do erro deveria ser de 0,50m, assim analisando a Tabela 4.15, verificasse que nenhum valor excedeu, portanto num processo comparativo todos as malhas, segundo os dados amostrais para análise se enquadram dentro do padrão classe A.

Estendendo, esta mesma análise para os dados do produto cartográfico de 2000, chegou-se ao resultado apresentado na Tabela 4.16.

Tabela 4.16 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos de 2000.

Média dos Produtos Cartográficos de 2000	Discrepância (m)
2000_100 x 2000_10	- 0,035
2000_100 x 2000_50	- 0,171
2000_100 x 2000_5	- 0,090
2000_100 x 2000_20	- 0,173
2000_100 x 2000_2	- 0,239
2000_10 x 2000_50	- 0,136
2000_10 x 2000_5	- 0,055

2000_10 x 2000_20	- 0,138
2000_10 x 2000_2	- 0,204
2000_50 x 2000_5	0,081
2000_50 x 2000_20	- 0,002
2000_50 x 2000_2	- 0,068
2000_5 x 2000_20	- 0,083
2000_5 x 2000_2	- 0,149
2000_20 x 2000_2	- 0,066

Conforme verificado na Tabela 4.16 o maior valor foi de – 23,9cm, sendo o limiar do erro permitido de 50cm, portanto os produtos cartográficos referentes a 2000, nos seus 6 diferentes grides atendem a prerrogativa da legislação cartográfica e se enquadram como produtos classe A .

Por fim o ultimo produto cartográfico analisado foi referente aos 200 pontos resultados da aerotriangulação, que permitiram gerar os 6 grides e consequentemente as superfícies. Os resultados das análises para estes produtos apresentam-se na Tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos de 2000aerotriangulados.

Média dos Produtos Cartográficos de 2000aerotriangulados	Discrepância (m)
2000aerotri_100 x 2000aerotri_10	- 3,101
2000aerotri_100 x 2000aerotri_50	3,53
2000aerotri_100 x 2000aerotri_5	3,764
2000aerotri_100 x 2000aerotri_20	6,075
2000aerotri_100 x 2000aerotri_2	31,404
2000aerotri_10 x 2000aerotri_50	6,631
2000aerotri_10 x 2000aerotri_5	6,865
2000aerotri_10 x 2000aerotri_20	9,176
2000aerotri_10 x 2000aerotri_2	34,505
2000aerotri_50 x 2000aerotri_5	0,234
2000aerotri_50 x 2000aerotri_20	2,545
2000aerotri_50 x 2000aerotri_2	27,874
2000aerotri_5 x 2000aerotri_20	2,311
2000aerotri_5 x 2000aerotri_2	27,640
2000aerotri_20 x 2000aerotri_2	25,329

Os produtos cartográficos referente aos dados de 2000 aerotriangulados apresentaram um resultado não satisfatórios à cartografia, conforme comprovado na Tabela 4.17, sendo que o erro máximo permitido para se classificar um produto como classe A, deveria ser de no máximo 50cm, entretanto existem vários valores que excedem os 20m.

De mesma forma em que foram analisados os produtos cartográficos de mesma data e método, considerando grides distintos, foi analisado grides iguais em épocas e métodos diferenciados. Portanto, foram analisados comparativamente produtos contendo, por exemplo o gride de 100x100m para o produto cartográfico de 1990, 1999, 2000 e 2000 aerotriangulado, conforme segue nas Tabelas 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 e 4.23.

Tabela 4.18 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 100x100m

Média dos quatro produtos cartográficos contendo gride de 100m	Discrepância (m)
1990_100 x 1999_100	0,079
1990_100 x 2000_100	0,946
1990_100 x 2000aerotri_100	11,284
1999_100 x 2000_100	0,867
1999_100 x 2000aerotri_100	11,505
2000_100 x 2000aerotri_100	10,638

Tabela 4.19 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 10x10m

Média dos quatro produtos cartográficos contendo gride de 10m	Discrepância (m)
1990_10 x 1999_10	0,120
1990_10 x 2000_10	0,970
1990_10 x 2000aerotri_10	8,542
1999_10 x 2000_10	0,850
1999_10 x 2000aerotri_10	8,422
2000_10 x 2000aerotri_10	7,572

Tabela 4.20 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 50x50m

Média dos quatro produtos cartográficos contendo gride de 50m	Discrepância (m)
1990_50 x 1999_50	0,245
1990_50 x 2000_50	0,922
1990_50 x 2000aerotri_50	15,261
1999_50 x 2000_50	0,677
1999_50 x 2000aerotri_50	15,016
2000_50 x 2000aerotri_50	14,339

Tabela 4.21 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 5x5m

Média dos quatro produtos cartográficos contendo gride de 5m	Discrepância (m)
1990_5 x 1999_5	- 0,002
1990_5 x 2000_5	0,793
1990_5 x 2000aerotri_5	15,285
1999_5 x 2000_5	0,795
1999_5 x 2000aerotri_5	15,287
2000_5 x 2000aerotri_5	14,492

Tabela 4.22 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 20x20m

Média dos quatro produtos cartográficos contendo gride de 20m	Discrepância (m)
1990_20 x 1999_20	0,113
1990_20 x 2000_20	0,813
1990_20 x 2000aerotri_20	17,699
1999_20 x 2000_20	0,700
1999_20 x 2000aerotri_20	17,586
2000_20 x 2000aerotri_20	16,886

Tabela 4.23 – Discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo gride de 2x2m

Média dos quatro produtos cartográficos contendo gride de 2m	Discrepância (m)
1990_2 x 1999_2	0,045
1990_2 x 2000_2	0,675
1990_2 x 2000aerotri_2	42,956
1999_2 x 2000_2	0,63
1999_2 x 2000aerotri_2	42,911
2000_2 x 2000aerotri_2	42,281

#### 4.6 – Resultado obtido após a geração da ortofoto

Através do software BRECT no sistema ImageStation desenvolvido pela empresa Z/I, foi possível abrir o programa BASE RECTIFIER ENVIRONMENT, o qual permitiu a geração da ortofoto da região de São José dos Pinhais – PR.

Deve-se considerar que este resultado não foi contemplado nos objetivos do trabalho, entretanto, mediante a curiosidade na avaliação do desempenho do software gerou-se uma pequena ortofoto da área de estudo.

Para usar o software BRECT e iniciar o processo de retificação da foto foi necessário:

- 1) Projeto fotogramétrico criado no módulo ISPM;
- 2) Ter os parâmetros da orientação interior da foto a ser retificada;
- 3) Ter os parâmetros da orientação exterior da foto a ser retificada;
- 4) Ter o arquivo de desenho no software Microstation;
- 5) Ter a superfície gerada, ou seja MDT para permitir a retificação.

Após a execução destes passos iniciou-se o processo de ortoretificação da fotografia aérea usando o método de interpolação pelo vizinho mais próximo. O resultado da retificação da fotografia aérea 006 pertencente a faixa 02 do vôo de 2000, poder ser visto na Figura 4.38.



**Figura 4.38** – Ortofoto gerada no sistema ImageStation referente a foto 06 da faixa 02 do vôo de 2000 de São José dos Pinhais – PR.

## CAPÍTULO 5

### 1.3 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

**1.3.1.1 NESTE CAPÍTULO APRESENTAM-SE AS CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES INERENTES A APLICAÇÃO DA METODOLOGIA INDICADA NO DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO, CONSIDERANDO CLARAMENTE AS ANÁLISES REALIZADAS NO CAPÍTULO 4. ASSIM, AS CONCLUSÕES VERSAM ESPECIALMENTE SOBRE A CLASSIFICAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS ALTIMÉTRICOS UTILIZANDO-SE COMO METODOLOGIA DE GERAÇÃO A FOTOGRAMETRIA ANALÍTICA E DIGITAL; ASSOCIADO AO RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO ENFATIZA-SE A APLICAÇÃO E OS RECURSOS DA ESTATÍSTICA ESPACIAL OU GEOESTATÍSTICA.**

#### **1.3.1.2**

#### **1.3.1.3 5.1. FOTOGRAMETRIA DIGITAL**

Com relação a aplicação de novas tecnologias, sejam elas cartográficas ou não, deve-se considerar situações distintas, pois a acurácia está diretamente ligada ao método de coleta, aos equipamentos utilizados e ao modo de processamento dos dados, sendo que muitas vezes os usuários desejam somente ter uma visão geral da área de estudo. Nesse caso, a possibilidade



do emprego da fotogrametria pode ser considerada em segundo plano, devendo primeiro verificar se, por meio de imagens de sensores as necessidades do usuário são supridas.

Comparando os processos fotogramétricos digital e analítico no desenvolvimento deste trabalho, chegou-se a conclusão de que para o caso de São José dos Pinhais – PR, no qual a escala de resolução geométrica deveria atender a 1:2000, o método digital gerou resultados de qualidade inferior; entretanto o método analítico atingiu o limiar da rigidez geométrica. Por outro lado, se for considerada a metodologia de trabalho em função do ganho de tempo a fotogrametria digital superou as expectativas.

**a) Critérios importantes que devem ser considerados na análise do processo de escanização:**

**Geometria:** através do uso das fotos aéreas em escaneres, o nível de precisão alcançado na execução da aerotriangulação deve ser da ordem de  $\pm 2\text{m}$ . Pois esta precisão é usualmente obtida através dos restituidores analíticos, conseqüentemente é útil e necessário chegar a mesma acurácia através dos escaneres fotogramétricos. Essa equivalência de acurácia entre métodos (analítico e digital) pode ser confirmada pelos resultados obtidos nos mapas gerados a partir da aplicação da geoestatística e comprovada pela análise numérica apresentada nas Tabelas 4.14 a 4.23.

**Resolução da imagem:** para a execução do trabalho de São José dos Pinhais – PR, a resolução adotada foi de  $28\text{m}$ , em função do tamanho do arquivo e de prévias experiências relatadas por profissionais das áreas. O resultado obtido, considerando o estudo de caso, foi adequado e o ajuste na aerotriangulação atendeu a qualidade geométrica para a escala de 1:2000, no processo de propagação de erro.

Assim, conclui-se no cenário nacional que para maximizar a qualidade geométrica dos resultados no processo fotogramétrico digital é conveniente que se faça a aerotriangulação utilizando uma escanização entre 14 a 21 micras; por outro lado, o trabalho de restituição deve ser executado utilizando uma resolução numérica superior as citadas, para que os arquivos não fiquem exageradamente grandes.

Portanto conclui-se que para o caso de São José dos Pinhais – PR, no qual o processo digital (2000) teve uma resolução de escanização de  $28\text{m}$  e o analítico (1990 e 1999) teve uma resolução de  $1\text{m}$ , a tecnologia digital ainda deve se aprimorar muito para atingir a qualidade de

resolução de imagem. Esta comparação é de primordial importância, pois a identificação dos pontos de controle, pontos de enlace, visualização de determinadas feições para grandes escalas são intensamente atingidas no controle de qualidade final. Portanto, o parâmetro resolução da imagem ainda apresenta-se como sendo superior e adequado na situação de fotogrametria analítica.

Verificou-se também que para a geração do modelo digital do terreno em algumas resoluções de malhas, os diferentes produtos cartográficos abordando os métodos analítico e digital ficaram muito próximos em qualidade geométrica. Isso caracteriza que a implantação novo sistema fotogramétrico digital no mercado mundial, não suplanta o sistema fotogramétrico analítico em qualidade geométrica, pelo menos não neste momento.

## **b) Aerotriangulação**

A aerotriangulação digital encontra-se num processo de rápido desenvolvimento e atualmente é considerada a técnica mais eficiente se comparada a aerotriangulação dos restituidores analíticos. A tendência é clara de haver dia a dia um processo mais intenso de automação. Entretanto, toda essa vantagem da automação torna-se obsoleta se o sistema não for fidedigno ou se a correlação entre imagens tomar muito tempo.

O autor deste trabalho em acordo com Vanommeslaeghe (1996), concluem sobre os software de aerotriangulação:

- ?? Possuem metodologia adequada e de raciocínio lógico, permitindo realizar facilmente a transferência de pontos homólogos entre fotos, conseqüentemente ganha-se tempo;
- ?? Oferecem novas possibilidades, pois a cada dia percebe-se inovações nesta área no mercado fotogramétrico;
- ?? São fáceis de aprender, usar e manipular, entretanto o usuário que configura os parâmetros para geração da aerotriangulação deve ter experiência e domínio do que está fazendo, caso contrário tende a gerar resultados não confiáveis;
- ?? Pode-se obter uma acurácia na mesma ordem da aerotriangulação analítica.

No processo produtivo de aerotriangulação, o método digital é superior ao analítico, possibilitando um ganho de tempo e apresentando uma maior rigidez geométrica no resultado. Torna-se clara essa situação, na fotogrametria digital, em função do aumento significativo dos

pontos de enlace, portanto enquanto no processo analítico gera-se uma quantidade restrita de pontos de enlace, no processo digital essa quantidade é muito superior. Entretanto, o número de pontos de enlace no sistema ImageStation fica restrito a configuração espacial definida no software, conforme apresentado na Figura 3.7, bem como a facilidade de correlação entre imagens em função dos contrastes das feições.

### **c) Modelo Digital do Terreno**

Para o caso de São José dos Pinhais – PR, o processo fotogramétrico digital na geração dos pontos altimétricos, visando obter MDT, quando comparados geometricamente com os produtos da restituição analítica de 1990 e 1999, atendeu os pré-requisitos da legislação cartográfica para a escala 1:2000. Essa afirmação pode ser comprovada por meio das Tabelas 4.18 a 4.23.

Comparando as coordenadas altimétricas de 80 pontos amostrais adquiridos dos produtos cartográficos de 1990, 1999, 2000 e 2000\_aerotriangulados, sob o aspecto da qualidade geométrica das malhas com resoluções de 100m, 50m, 20m, 10m, 5m e 2m, pode-se concluir que:

- a) todas as comparações entre os dois produtos cartográficos executados analiticamente ficaram abaixo dos 0,50m;
- b) as comparações que envolveram as malhas geradas a partir do produto cartográfico digital de 2000, usando o ImageStation, apresentaram uma discrepância acima da classificação carta Classe A (0,50m), carta Classe B (0,60m) e carta Classe C (0,75m) para a escala 1:2000, segundo a legislação cartográfica. Assim, o produto somente poderia ser classificado para uma escala menor;
- c) as comparações que foram realizadas envolvendo dados referentes ao produto de 2000 aerotriangulados, apresentaram-se completamente inadequadas aos padrões de qualidade cartográfica, tendo atingido uma discrepância de até 42m. Tornando inviável a sua utilização até para escalas menores.

Somado aos itens relacionados, deve-se ainda considerar que para atender a escala de 1:2000 de mapeamento, estudado para o Município de São José dos Pinhais - PR, segundo a legislação cartográfica a qual determina um erro abaixo de meia equidistância das curvas de nível, deverá ser no máximo de 0,50m.

O software ImageStation DTM Collection (ISDC), através do método interativo para compilação de Modelos Tridimensionais, visando a geração de ortofotos ou mesmo projetos de engenharia, apresentou-se metodologicamente adequado e ergonômico ao usuário do sistema. Segundo resultado obtido após o seu uso na geração da malha 3D para o Município de São José dos Pinhais, pode-se dizer que:

- a) A coleta interativa de pontos altimétricos foi considerada fácil, entretanto, a experiência do usuário no sistema garante sobremaneira a qualidade do projeto, além disso, um prévio conhecimento da área de estudo permite atingir maior fidedignidade ao resultado do trabalho;
- b) As etapas de geração das *breaklines* e áreas obscuras são fundamentais ao MDT – Modelo Digital do Terreno, pode-se, assim concluir que a qualidade geométrica na geração do 3D, especialmente para o Município de São José dos Pinhais poderia ser melhor se tivessem sido usados estes recursos;
- c) Inserção ou remoção interativa de vértices do modelo;
- d) A possibilidade de alteração da superfície on-line, ou seja releitura dos pontos foi um recurso utilizado “n” vezes objetivando refinar a qualidade final do produto cartográfico;

O software SPRING 3.4, desenvolvido pelo INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, apresentou no início do projeto um confuso sistema de configuração. Entretanto, após uma afinidade com o sistema, a situação se reverteu. Porém, houve inevitavelmente a necessidade de se configurar determinados parâmetros no software que seguiram uma metodologia pouco didática.

Deve-se considerar que todos os dados cartográficos trabalhados no projeto de São José dos Pinhais, inicialmente eram vetoriais, uma vez importados para o software SPRING tornaram-se imagens, portanto aumentaram de tamanho. No processo de geração de imagem MDT com poucos pontos de referência, como 2000 aerotriangulado, a execução foi rápida e utilizou pouco

esforço computacional, entretanto para os dados de 1990, 1999 e 2000 o esforço computacional foi maior e o tempo de processamento chegou a ser de 8 (oito) horas.

A grande desvantagem apresentada no software Spring 3.4 foi a forma de leitura e conseqüente aquisição das coordenadas dos pontos amostrais, para serem usados na análise geoestatística, pois este processo deveria ter sido feito manualmente, ou na forma de exportação de um arquivo .dat.

Executando-se a exportação do arquivo contendo os dados de interesse e sendo estes importados para o software *Word* obteve-se um arquivo .doc com mais de 700 páginas, tornando-se inviável a identificação dos 80 pontos de interesse à análise geoestatística. Além disso, na versão 3.4 do Software Spring não foi permitido a leitura das coordenadas até a casa do milímetro – somente foi permitido a leitura até o decímetro. Entretanto, considerando a necessidade de obter coordenadas com um grau maior de acurácia, descartou-se o uso do software Spring na versão 3.4 e optou-se pelo uso do software Geoterrain.

O software Geoterrain é um módulo que roda sobre a plataforma MicroStation, o qual tem como característica básica a manipulação dos dados na forma vetorial.

Como todos os dados provenientes do processo fotogramétrico quer sejam analítico ou digital, estavam disponíveis na forma vetorial, tornou-se fácil a manipulação dos mesmos no ambiente Geoterrain. Portanto, o software *GeoTerrain* por ser um programa para Modelagem Digital de Terrenos (MDT) possibilitou a geração de modelos com malha triangular (TIN) e de grid a partir de coordenadas de pontos cotados e curvas de nível. As gerações de modelos 3D a partir de uma malha regular tiveram espaçamentos de 100x100m, 50x50m, 20x20m, 10x10m, 5x5m e 2x2m, as quais foram geradas facilmente a partir de comandos específicos, considerando cada um dos quatro produtos cartográficos, 1990, 1999, 2000 e 2000 aerotriangulado.

#### **1.3.1.4 5.2. ESTATÍSTICA**

#### **1.3.1.5**

#### **1.3.1.6 5.2.1. CONCLUSÕES SOBRE A APLICAÇÃO DA LEGISLAÇÃO CARTOGRÁFICA**

Para aplicar a análise estatística não foram tomadas coordenadas a campo que pudessem verificar o grau de acurácia dos produtos cartográficos. Entretanto, optou-se por tirar a média entre os 80 pontos amostrais determinados em cada um dos 24 produtos cartográficos. A partir da determinação deste parâmetro verificou-se as discrepâncias entre os dados em função da média dos pontos amostrais. Na Tabela 4.14 foram verificadas as discrepâncias entre as seis malhas para o produto cartográfico de 1990, determinando-se a maior discrepância no valor de 0,18m exceto para a discrepância existente entre as malhas 1990\_100mx1990\_5m na qual obteve-se o valor de 0,63m.

Na Tabela 4.15, foram determinadas as discrepâncias entre as 6 malhas para o produto cartográfico de 1999, sendo verificado o maior valor de 0,04m, exceto para a discrepância encontrada entre as malhas 1999\_10mx1999\_50m no valor de 0,37m.

Para a Tabela 4.16, foram determinadas as discrepâncias entre as 6 malhas considerando o produto cartográfico de 2000, assim o maior valor discrepante verificado foi de – 0,24m. A Tabela 4.17 apresenta os maiores valores discrepantes, isso porque a quantidade de pontos que geraram as superfícies foram insuficientes, ou seja, os 200 pontos provenientes da aerotriangulação. Deve-se ainda considerar que pelo fato de terem sido mal distribuídos espacialmente, não configuraram uma distribuição homogênea na área de 5,7km<sup>2</sup>. O maior erro encontrado na determinação dos valores discrepantes para os dados de 2000 aerotriangulados foi entre as malhas 2000aerotri\_10mx2000aerotri\_2m, sendo de 34,05m.

Entre as Tabelas 4.18 a 4.23 foram verificadas as discrepâncias para a mesma malha (100x100, 50x50m, 20x20m, 10x10m, 5x5m e 2x2m) entre os quatro produtos cartográficos, 1990, 1999, 2000 e 2000 aerotriangulado.

Na Tabela 4.18, os maiores valores determinados para a malha de 100x100m foram em torno de 11m, entretanto estes valores estão diretamente relacionados a dados provenientes das discrepâncias das médias que envolvem o produto cartográfico 2000aerotri.

A Tabela 4.19 relaciona a discrepância das médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo malha de 10x10m, os maiores valores foram em torno de 8m e apresentaram-se também envolvendo o produto cartográfico de 2000aerotri.

Para a Tabela 4.20 foram consideradas as discrepâncias entre as médias dos pontos amostrados para os produtos cartográficos contendo a malha de 50x50m, assim o maior erro apresentado foi de 15m para 1990\_50m x 2000aerotri\_50m.

A Tabela 4.21 também apresenta uma discrepância na ordem de 15m, para as médias dos pontos amostrados dos produtos cartográficos com malha de 5x5m. Vale novamente salientar que as maiores discrepâncias foram encontradas para as diferenças que envolvem o produto 2000 aerotriangulado.

Na Tabela 4.22 são apresentadas as discrepância das médias dos pontos amostrados para os quatro produtos cartográficos (1990, 1999, 2000 e 2000 aerotriangulado) contendo as malhas de 20x20m, o valor discrepante foi de 17m e mais uma vez apresentou-se característico nas diferenças que envolviam o produto de 2000 aerotriangulado.

A Tabela 4.23 apresentou o maior valor discrepante entre todos, sendo ele de 42m. Nesta tabela são mostradas as discrepâncias das médias dos pontos amostradas para os produtos cartográficos contendo a malha de 2x2m.

### **5.2.2. Geoestatística**

A geoestatística é uma ferramenta poderosa quando se tem pleno conhecimento dos passos a serem seguidos para a compreensão do comportamento espacial do fenômeno e sua tradução em um modelo matemático e daí a extrapolações, interpolações ou simulações.

No caso de São José dos Pinhais – PR, foi estudada a qualidade geométrica dos mapeamentos considerando a altimetria através da geoestatística, ou seja, o próprio valor “z” dos modelos matemáticos referenciou-se ao valor “z” altimétrico dos 24 mapas. Portanto os dados que permitiram gerar as superfícies, ou seja, os mapas de superfícies, após a interpolação pelo método de krigagem, foram os valores altimétricos dos 80 pontos amostrais determinados em cada um dos quatro produtos cartográficos nas suas 6 malhas distintas.

Os mapas gerados nas Figuras 4.13 a 4.18, 4.20, 4.21 e 4.23 a 4.30 caracterizam-se como tendo a mesma representação gráfica, entretanto os mapas gerados nas Figuras 4.19 e 4.22 apresentam um alcance distinto o que lhe confere as isolinhas diferenciadas.

Os mapas 4.32 a 4.37 apresentam isolinhas completamente distintas dos demais mapas, além de apresentarem efeito pepita relativo completamente diverso.

A prática da geoestatística teve uma aplicação importante no contexto da avaliação dos produtos cartográficos, na sua avaliação altimétrica, pois através dos mapas gerados no software Surfer foi possível graficamente avaliar os 24 modelos digitais do terreno gerados no desenvolvimento deste trabalho.

A técnica da Geoestatística ganha espaço dia a dia no mercado mundial, e passa a ser considerada importante nos software de Sistemas de Informação Geográficos, exemplos podem ser listados como os recentes módulos geoestatística apresentados pelas empresas: ESRI (ArcView), Clark University (Idrisi), INPE (Spring), entre outros.

### **5.3. Recomendações**

A área de estudo escolhida para o desenvolvimento deste trabalho pode ser melhor visualizada na Figura 3.2, caracterizando-se na região norte do Município de São José dos Pinhais – PR. Esta área encontra-se na periferia da cidade, entretanto apresenta um vetor crescimento direcional acentuado configurando brevemente uma conurbação urbana, além de ser topologicamente considerada uma área de relevo suave ondulado a plano.

Portanto, a metodologia de comparação entre sistemas fotogramétrico digital e analítico aplicada neste trabalho, visando a análise geométrica do Modelo Digital do Terreno, teve uma aplicação voltada a topologia com características planas de terreno, encontradas em São José dos Pinhais. Assim, recomenda-se que seja aplicada a mesma metodologia para regiões com topologia ondulada e fortemente ondulada.

Recomenda-se também que em um novo trabalho de análise geométrica entre produtos cartográficos, gerados por processos fotogramétricos digital e analítico, seja considerado o método de geração automática do MDT, usando no contexto os recursos das “breaklines” e áreas obscuras.



Sugere-se que seja realizada uma nova avaliação geométrica para produtos gerados no sistema ImageStation, considerando a mesma área de estudo, ou seja, São José dos Pinhais, entretanto utilizando uma resolução de escanização de 7?m.

## **CAPÍTULO 6**

### **1.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

#### **1.4.1.1**

Ackermann F., Hahn M., (1991) **Image Pyramids for Digital Photogrammetric System**, by Ebner H. et al., Herbert Wichmann Verlag ISBN 3-87907-234-5, pp. 43-48, Karlsruhe.

Ackermann, F., (1991) **Structure Changes in Photogrammetry** In: Proceedings of the 43<sup>th</sup> Photogrammetric Week, Stuttgart, 9-23.

Ackermann, F., (1996) Application of Digital Photogrammetric Workstations, Chapter **Some Considerations About Feature Matching for the Automatic Generation of Digital Elevation Models**, Proceedings of OEEPE – European Organization for Experimental Photogrammetric Research, Lausanne 4 - 6 march, 1996. Official Publication n° 33 – ISSN 0257-0505, pag 231 - 240.

Albota, M.G., (1976) **Short Chronological History of Photogrammetry**, Proceedings of XIII Congress of the International Society for Photogrammetry, Commission VI, Helsinki, 20p.

Burtch, R., (1997) **A Short History of Photogrammetry**, The Institute for Digital Mapping, Ferris State University, <http://users.netonecom.net/~rburtch/sure340/history.html>, 20/12/2001.

Burrough, P., (1987): **Spatial aspects of ecological data**. In: Jongman, R., ter Braak, C. and Tongeren, O. (eds.), Data analysis in community and landscape ecology, Pudoc, Wageningen, 213-251.

Camargo, E. C. G., (2001) **Geoprocessamento em Projetos Ambientais**, Capítulo 5 - Geostatística: Fundamentos e Aplicação, 1 – 36, site [http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/5geoest.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/5geoest.pdf)

Case, J. B., (1982) **The digital stereo comparator/compiler (DSCC)**. I: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, Part 2, pp. 23-29.

Centre of Geostatistics, Site <http://cg.ensmp.fr/index.html>, Julho 2000.

Delfiner, P. ; Delhomme, J. P.,(1975) **Optimum interpolation by Kriging**. In: Davis, J. C.; McCullagh, M. J. ed. Display and Analysis of Spatial Data. New York, John Wiley, p. 96-114.

Diggle, P. J. ; Ribeiro Jr, P. J., (2000) **Model Based Geostatistic**, Department of Mathematics and Statistics, Lancaster University, UK, ABE – Associação Brasileira de Estatística, 14º SINAPE, Caxambu.

Dörstel, C., (1995) **Phodis Inovations**. In: Fritsch, D. and Hobbie, D. (eds.), Photogrammetric Week'95, Wichmann, Karlsruhe, pp. 5-10.

Dowman I., (1990) **Progress and potential of digital photogrammetric workstations**, IntArchPhRS (28) 2, 239-246.

Dowman, I. J., (1991 a) **Digital Photogrammetric System in North America**, The Photogrammetric Record, Vol. 13, No. 78, pp. 931-934.

Dowman, I. J. (1991 b) **Design of Digital Photogrammetric Workstations**. In: Ebner, H. Fritsch, D. and Heipke, C. (eds.), Digital Photogrammetric Systems, Wichmann, Karlsruhe, pp. 28-38.

Dowman, I. J.; Ebner, H.; Heipke, C., (1992) **Overview of European Developments in Digital Photogrammetric Workstations**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 58, No. L, pp. 51-56.

Doyle, I. W., (1980) **Sherman Mills Fairchild**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 46(7), pp 923-936.

Gagnon, P. A. ; Boulianne, M.; Agnard, J.-P.; Nolette, C.; Coulombe, J., (1995) **Present status of the DVP system**. Geomatica, Vol. 49, No. 4, pp. 479-488.

Galo, M.; Camargo, P. O., (1994) **Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas**, In: I Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis – SC. Anais do I Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis, p. 41 – 48.

Grün, A ., (1996) **Digital Photogrammetric Stations Revisited**, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B2, Commission II, Vienna, Austria, pp. 173-183.

\_\_\_\_\_, (1989), **Digital Photogrammetric processing systems: current status and prospects**, PE&RS (5) 5, 581-586.

Gruner, H., (1971) **Reinhard Hugersfoff**, Photogrammetric Engineering, 37(9), pp 939-947.

Guerra, P. A. G.; Salles, J. J. C., (1988) – **Geoestatística Operacional**, República Federativa do Brasil, Ministério das Minas e Energia, Departamento Nacional da Reprodução Mineral, Brasília – DF, Docegeo-Rio Doce Geologia e Mineração S.A .

Gülch E., (1994) **From Control Points to Control Structures for Absolute Orientation and Aerial Triangulation in Digital Photogrammetry**, ZPF, Vol. 3/95, pp. 130-136.

Hannah N., Vosselmann G., (1992) **A System for Digital Stereo Image Matching**, In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 55, nº 12, pp 1765-1770.

Heipke C., (1993) **Performance and state-of-the-art of digital stereo processing**, In: Photogrammetric Week, Stuttgart, Herbert Wichmann Verlag , Karlsruhe, pp. 173-183.

\_\_\_\_\_, (1995) **State-of-the-art of digital photogrammetric workstations for topographic applications**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 61, No. 1, pp. 49-56.

Helava U. V. (1991a), **Prospects in Digital Photogrammetry**, The photogrammetric Journal of Finland (12) 2, 57-64.

Helava, U. V., (1991b) **State of the Art in Digital Photogrammetric Workstations.** Photogrammetric Journal of Finland, Vol.12, No. 2, pp. 65-76.

Hellwich, O .; Heipke C.; Tang L.; Ebner H.; Mayr W., (1994) **Experiences with automatic relative orientation**, ISPRS Commission III, Vol. 30, part 3/1, pp. 370-378 München.

Huijbregts C.J., 1975, **Regionalised Variables and quantitative analysis of spatial data**, in Davis & McCullagh, eds, 1975, Display & Analysis of Spatial Data, Wiley, 378p.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Programacao de Aulas, <http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser431/aulas.html>, DPI, Geoprocessamento, Cursos, Analise Espacial, Aulas, Junho 2001.

Isaaks, E. H.; Srivastava, R. M., **An Introduction to Applied Geostatistics.** Oxford University Press, 1989.

Jaakkola, J.; T. Sarjakoski (1994) **European Organization Project – Aerotriangulation Using Digitized Images – Preliminary Results.** ISPRS Commission III, Vol. 30, part 3/1, pp. 416-421.

Journel, A. G., (1989) **Fundamentals of geostatistics in five lessons.** American Geophysical Union.

Kaiser, R., (1991) **ImageStation: Intergraph's Digital Photogrammetric Workstation.** In: Ebner, H., Fritsch, D. and Heipke, C. (eds.), Digital Photogrammetric Systems, Wichmann, Karlsruhe, pp. 188-197.

Kölbl, O; Bach U., (1996) Application of Digital Photogrammetric Workstations, Chapter **Tone Reproduction of Photographic Scanners**, Proceedings of OEEPE – European Organization for Experimental Photogrammetric Research, Lausanne 4 - 6 march, 1996. Official Publication nº 33 – ISSN 0257-0505, pag 51 - 70.

Kölbl, O., (1996) Application of Digital Photogrammetric Workstations, Chapter **An Overview on Commercial Software Products for Digital Aerial Triangulation**, Proceedings of

OEEPE – European Organization for Experimental Photogrammetric Research, Lausanne 4 - 6 march, 1996. Official Publication n° 33 – ISSN 0257-0505, pag 125 - 137.

Konecny, G., (1985) **The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - 75 Years Old, or 75 Years Young**, Keynote Address, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(7), pp 919-933.

Kraus K., (1992) **Photogrammetry – Fundamentals and Standard Processes**, Vol. 1, Dümmler, Bonn, Alemanha, 397 pp.

Krige, D.G., (1951) **A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand**, J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Afr., 52, 119-139, 1951.

Krzystek P., (1991) **Fully Automatic Measurement of Digital Elevation Models with MATCH-T**, Proc. Of Photogrammetric Week 1991, pp. 203-214.

**Lawrence, C.; Powell R., (1968) Map compilation with orthophotography, Proceedings of ACSM 28th annual meeting, Washington, D.C., March 10-15, pp 253-264.**

Leberl, F. W., (1991) **The promise of softcopy photogrammetry**. In: Ebner, H., Fritsch, D. and Heipke, C. (eds.), Digital Photogrammetric Systems, Wichmann, Karlsruhe, pp. 3-14.

Leberl, F. W., (1992) **Design alternatives for digital photogrammetric systems**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 29, No. B2, pp. 384-389.

Leberl, F. W., (1994) **Practical issues in softcopy photogrammetric systems**. In: Proceedings, Mapping and Remote Sensing Tools for the 21<sup>st</sup> Century , August 26-29, 1994, Washington, D.C., pp. 223-230.

Matheron, G., (1971) **The theory of regionalized variables and its applications**. Paris, Le Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, 211p.

\_\_\_\_\_ (1963) **Principles of geostatistics**. Economic Geol. 58:1246-1266.

**Mayr W.; Poth Z., (1995) Automatic Generation of Stereomodels – Joint ISPRS Workshop WG III/2 and IC WG II/III on “The role of models in automated scene analysis” 30 August – 1 September 1995 – Stockholm, Sweden**

Mayr, W., (1993), **Photogrammetric digital image processing at Carl Zeiss** in: Photogrammetric Week 1993, Stuttgart, Editora Herbert Wichmann Verlag – Gmbh, Karlsruhe, pg 137 – 142.

Mayr, W., (1995) **Aspects of automatic aerotriangulation**, Photogrammetric Week'95, Wichmann, Stuttgart, pp. 225-234.

**McBratney, A.B.; Webster, R., (1986).** Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of Soil Science 37, 617–639.**

Mehlo, H., (1995) **Photogrammetric Scanners**, Photogrammetric Week'95, Wichmann, Stuttgart, pp. 11-17.

Mikhail, E. M., (1992) **Quality of photogrammetry products from digitized frame photography**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 29, No. B2, pp. 390-396.

Miller, S. B.; Helava, U. V.; Devenecia, K., (1992) **Softcopy Photogrammetric Workstation**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 58, No. 1, pp. 77-84.

Nolette, C.; Gagnon, P. A.; Agnard, J. P., (1992) **The DVP: design, operation and performance**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 58, No. 1, pp. 65-69.

Oliveira, F. H., (1996) **Qualidade da base cartográfica para o Cadastro Técnico Multifinalitário**, dissertação de mestrado, Curso de Mestrado em Engenharia Civil – UFSC, Florianópolis.

Oliver M.A.; Webster R., (1990), **Kriging: a method of interpolation for geographical information systems**, Int J GIS, Vol 4, No 3, 313-332

Petrie, G., (1983) **The philosophy of digital and analytical photogrammetric systems**. Zeiss Photogrammetric Week, Stuttgart, 28pp.

Projeto SIRGAS, Sistema de Referencia Geocentrico para a America do Sul, <http://www1.ibge.gov.br/ibge/geografia/seminario/sirgas/principal.htm>, Julho 2001.

Quinn, A.O., (1975) **Professor Earl Church**, Photogrammetric Engineering, 41(5), pp 595-601.

Raad, A.; Scarpace, F., (1995) **Multi-Dimensional Matching Techniques for Stereo-photogrammetric Mapping** ASCM/ASPRS Annual Convention & Exposition Technical Papers, Vol. 2, pp. 450-452.

Radlinski, W. A., (1985) **Russell Kerr Bean - Memorial Address**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(7), pp 975-983.

Revista MundoGeo – O portal da Geoinformação, Forum de Discussao, Site <http://www.mundogeo.com.br/scripts/forum.asp>, Agosto 2001.

Rosenberg P., (1955) **Information theory and eletronic photogrammetry**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, (21) 4, pp. 543-555.

Roth, G., (1996) **Quality feature of a state-of-the-art, high-performance photogrammetric scanning system: PHODIS SC**, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B1, Commission I, Vienna, Austria, pp. 163-166.



Santos, M. C.; Benevides, P. R. C. S., (1999) **Modelagem Do Referencial Local Aratu Em Relação Ao Referencial Geocêntrico Sirgas** In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro.

São Jose dos Pinhais, Site Oficial da Prefeitura <http://www.saojosedospinhaispm.pr.gov.br/>, dezembro de 2000.

Sarjakoski, T., (1981) **Concept of a completely digital stereoplotter**. The Photogrammetric Journal of Finland, vol. 8, No. 2, pp. 95-100.

Schenk, A.; Toth, C., (1992) **Conceptual Issues of Softcopy Photogrammetric Workstations**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 58, No. 1 pp. 101-110.

Schickler W., (1992) **Feature Matching for Outer Orientation of Single Images Using 3-D Wireframe Controlpoints**, Proc. XVII ISPRS Congress, Vol.29, Part B3, pp. 591-598, Washington D.C.

Schickler W., (1995) **Ein operationelles Verfahren zur automatischen inneren Orientierung von Luftbildern**, ZPF, Vol. 3 pp. 115-122.

State of Art in Digital Photogrammetry (2000); **GIM – International Magazine** , Vol. 14, number 7, Photogrammetry and Remote Sensing

Tang, L.; Heipke, C., (1994) **An automatic procedure for the relative orientation of aerial images**. In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Colloquium of LIESMARS on Integration, Automation and Intelligence in Photogrammetry, Remote Sensing and GIS, pp. 49-58.

\_\_\_\_\_, (1993) **An Approach for Automatic Relative Orientation**, Optical 3-D Measurement Techniques II, hrsg. Grün und Kahmen, Herbert Wichmann Verlag, pp. 347-354.

\_\_\_\_\_, (1995) **Automatic Relative Orientation of Aerial Images**, pres. Paper to the ACSM/ASPRS'95 Annual Convention, Charlotte, NC, USA.

Tommaselli, A. M. G.; Monico, J. F. G.; Camargo, P. O., (1988) **Análise da exatidão cartográfica da carta imagem de “São Paulo”**, In: V Simposio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal – RN, v. 1, p. 253 – 257.

Tsingas, V. (1994) **A graph-theoretical approach for multiple feature matching and its application on digital point transfer**, ISPRS Commission III, Vol. 30, part 3/2, pp. 865-869.

Tubis, H., (1976) **The Brock Brothers and the Brock Process**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(8). pp 1017-1034.

Vanommelaeghe J., (1996) Application of Digital Photogrammetric Workstations, Chapter **Digital Aerotriangulation in Practice**, Proceedings of OEEPE – European Organization for Experimental Photogrammetric Research, Lausanne 4 - 6 march, 1996. Official Publication nº 33 – ISSN 0257-0505, pag 115 - 123.

Vieira, S. R.; Hatfield, J. L.; Nielsen, D. R.; Biggar, J. W., (1983) **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties**. Hilgardia. Berkeley, v. 31, n. 3, 75p.

Vogelsang, U., (1997) **Image Digitalization Using PHODIS SC/SCAI**, Photogrammetric Week, 1997, Stuttgart, Wichmann, 25-31pp.

Walker, A. S., (1995) **Analogue, analytical and digital photogrammetric workstation: practical investigations of performance**. The Photogrammetric Record, Vol. 15, No. 85, pp. 17-25.

Walker, A. S.; Petrie, G., (1996) **Digital Photogrammetric Workstations 1992-1996**; International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXI, Part B2, Commission II, Vienna, Austria, pp. 384-395.

